

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

GRADO INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA



**ANÁLISIS DE SISTEMAS HÍBRIDOS FOTOVOLTAICOS.
APLICACIÓN A UN SISTEMA DE AUTOCONSUMO DOMÉSTICO**

TRABAJO FIN DE GRADO

AUTOR: BEATRIZ MARTOS CANO

TUTOR: VICENTE SALAS MERINO

Agradecimientos

Me gustaría agradecer este Trabajo Fin de Grado:

A mi madre, a mi padre y a mi hermana por su apoyo incondicional durante todos estos años. Por escucharme, animarme y ayudarme a lo largo de este largo camino que llega a su fin. Gracias por estar siempre en los buenos y en los malos momentos. Sin vosotros no lo hubiera logrado.

A todos los compañeros y profesores que me han ido ayudando a lo largo de la carrera.

A mi tutor, Vicente Salas, por su orientación en la elección y elaboración del trabajo.

ÍNDICE

OBJETIVO DEL TRABAJO	9
CAPÍTULO 1	
Introducción	10
1.2- Situación en España	10
1.3- Formas de energía.....	12
1.4- Medio Ambiente	15
1.5- Energías Renovables en España	16
1.6- Energía Solar.....	17
1.6.1- El Sol como recurso energético.....	17
1.7- Energía Solar Fotovoltaica en España	19
CAPÍTULO 2	
Sistemas Fotovoltaicos.....	23
2.1- Células solares fotovoltaicas	23
Obtención y principio de funcionamiento	23
Efecto fotoeléctrico.....	26
Parámetros destacados.....	27
Inclinación de módulos fotovoltaicos	31
Orientación de módulos fotovoltaicos.....	31
Conexión de módulos fotovoltaicos.....	32
Estructura de módulos fotovoltaicos	33
Tipos de seguidores en módulos solares	35
2.2- Resto de elementos Sistemas Fotovoltaicos.....	36
Características destacadas	36
2.3- Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	39
2.3.1- Sistemas Autónomos o Aislados	40
Componentes sistemas autónomos.....	40
Funcionamiento de sistemas autónomos	41
Aplicaciones sistemas autónomos	43
2.3.2- Sistemas Conectados a la Red	44
Componentes sistemas conectados a red.....	44
Funcionamiento y premisas del sistema a red	45

Aplicaciones destacadas.....	47
2.4- Sistemas Fotovoltaicos Híbridos	48
Tipos de Sistemas Híbridos.....	48
2.4.1- Sistemas híbridos, baterías y diesel	49
2.4.2- Sistemas híbridos fotovoltaicos y aerotermia	53
Principio de funcionamiento	54
Sistemas actuales en el mercado	56
Combinación aerotermia con fotovoltaica:	56
Elementos del sistema	57
CAPÍTULO 3	
Legislación	59
CAPÍTULO 4	
Aplicación a un sistema de autoconsumo doméstico	64
Elementos sistema FV de autoconsumo	66
Procedimiento de cálculo sistema FV de autoconsumo	69
CAPÍTULO 5	
Simulación del sistema de autoconsumo doméstico con PVsyst.....	79
Simulación del sistema completo.....	90
CAPITULO 6	
Conclusiones	95
CAPITULO 7	
Bibliografía	96
CAPÍTULO 8	
Anexos	101

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1. Evolución Precio de la Electricidad en España	11
Figura 2. Evolución del precio (en dólares por barril) de petróleo.	12
Figura 3. Evolución de consumo de energía final.....	13
Figura 4. Consumo de energía primaria en España. Año 2012.	13
Figura 5. Evolución de la estructura de la potencia instalada en la península.	14
Figura 6. Comparación entre estructuras de potencia y producción bruta (Régimen especial). 14	
Figura 7. Energías renovables [1]	16
Figura 8. Diagrama horas día e irradiación	18
Figura 9. Movimiento aparente del Sol [2]	19
Figura 10. Mapa Solar de España.	20
Figura 11. Evolución de la Potencia Fotovoltaica anual y acumulada hasta 2020.	21
Figura 12. Potencia Fotovoltaica conectada por Comunidades Autónomas. Año 2012.....	21
Figura 13. Evolución del precio de células fotovoltaicas de silicona cristalina	22
Figura 14. Monocristalino (izda.) Policristalino (dcha.).....	24
Figura 15. Células de Silicio amorfo	25
Figura 16. Funcionamiento celda solar.	26
Figura 17. Curvas I vs V.....	29
Figura 18. Curva P-V	30
Figura 19. Esquema conexión serie de módulos fotovoltaicos.....	32
Figura 20. Esquema conexión paralelo de módulos fotovoltaicos	32
Figura 21. Diferencias curva I-V conexión serie o paralelo.	33
Figura 22. Estructura fija sobre el terreno [3].....	33
Figura 23. Estructura orientable sobre seguidores [4].....	34
Figura 24. Módulos solares sobre una nave industrial (izda.).....	34
Figura 25. Ángulo Acimut [6].....	35
Figura 26. Diagrama general tipos de sistemas fotovoltaicos	39
Figura 27. Funcionamiento general de un sistema autónomo en AC.....	40
Figura 28. Esquema general básico de un sistema fotovoltaico autónomo en AC.....	41
Figura 29. Esquema básico de un sistema conectado a red	44
Figura 30. Esquema de funcionamiento sistema conectado a red	45
Figura 31. Sistema de autoconsumo con controlador bidireccional.....	46
Figura 32. Hibridación FV + diesel Configuración serie.....	50
Figura 33. Hibridación diesel + FV. Configuración conmutada.	51
Figura 34. Hibridación diesel + FV. Configuración conmutada.	52
Figura 35. Fundamento energía aerotérmica	53
Figura 36. Funcionamiento general aerotermia [7]	55
Figura 37. Esquema instalación fotovoltaica y aerotermia [8]	58
Figura 38. Ejemplo de aplicación en una vivienda unifamiliar de aerotermia + FV [9]	58
Figura 39. Estructura del consumo de energía eléctrica peninsular Distribución facturación del mercado por tipo de consumidor. Año 2011.	64
Figura 40. Esquema de dimensionado de la instalación	65
Figura 41. Representación gráfica Irradiación ($\text{Wh/m}^2/\text{día}$) vs meses del año.....	73

Figura 42. Características eléctricas módulo fotovoltaico SW 180 mono.....	73
Figura 43. Pantalla inicial PVsyst v6.24	79
Figura 44. Pantalla principal programa de diseño	80
Figura 45. Ángulo de inclinación β y acimut α en los módulos.....	81
Figura 46. Pantalla de proyecto Ubicación y estación meteorológica	81
Figura 47. Datos que el software guarda para realizar el cálculo	82
Figura 48. Ubicación y coordenadas geográficas	82
Figura 49. Valores albedo proyecto	83
Figura 50. Orientación y optimización para el sistema en concreto a 35º	83
Figura 51. Perfil de obstáculos para una inclinación de 35º y acimut de 0º.....	84
Figura 52. Consumo diario del usuario de manera detallada, redondeada y con factor de corrección aplicado expresado en Wh/día	85
Figura 53. Pantalla general de selección de batería y módulos FV.....	85
Figura 54. Referencias generales batería.....	86
Figura 55. Representación gráfica carga (horas) vs Tensión de la batería (V)	86
Figura 56. Características principales hoja de catálogo módulo PW180 mono.....	87
Figura 57. Parámetros modelo módulo PW180 mono	87
Figura 58. Gráfico módulo fotovoltaico I-V.....	88
Figura 59. Gráfico módulo fotovoltaico P-V.....	88
Figura 60. Características regulador Tristar-60 12/24V	89
Figura 61. Esquema sistema completo.	89
Figura 62 Pantalla de resultados de la simulación	90
Figura 63. Producción normalizada y factores de pérdida diseño	91
Figura 64. Informe con resultados generales PVsyst	92
Figura 65. Informe con resultados generales PVsyst	93
Figura 66. Diagrama de pérdidas durante el año.....	94

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Rendimiento para los diferentes sistemas	55
Tabla 2. Consumo detallado usuario.....	69
Tabla 3. Tabla de radiaciones para cada inclinación y mes de año en Madrid	71
Tabla 4. Relación entre consumo total diario y radiación.....	72
Tabla 5. Características generales módulo fotovoltaico SW 180 mono	73
Tabla 6. Características generales batería OPzS 1990	76
Tabla 7. Características generales regulador TS-MPPT-60.....	76
Tabla 8. Potencias en AC de la vivienda familiar.....	77
Tabla 9. Características generales inversor TS-MPPT-60	77

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo fundamental del trabajo es analizar y estudiar los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo y conexión a red así como los tipos de hibridación que presenta el mercado para este tipo de tecnologías. En particular nos centraremos en dos sistemas híbridos:

- Sistemas híbridos fotovoltaicos + diesel + baterías
- Sistemas híbridos fotovoltaicos + aerotermia

Se realizará la adaptación de uno de los sistemas expuestos a una aplicación en el campo doméstico siguiendo unas características determinadas, en concreto la aplicación se realizará para una vivienda familiar ajustando el autoconsumo diario de electricidad.

Finalmente, tras el estudio, se llevará a cabo la simulación del sistema completo utilizando el software PVsyst versión 6.2.4, donde se podrá analizar con detalle el diseño realizado para su aplicación real.

CAPÍTULO 1

Introducción

En los últimos años la variación del precio de la electricidad ha creado la necesidad de obtener energía por otras vías para satisfacer la demanda actual. En este momento, la existencia de una amplia oferta renovable resulta suficiente para cubrir ciertas necesidades mínimas, pudiendo ofrecer múltiples opciones con las que poder configurar la demanda.

En la actualidad, a nivel energético, la fuerte dependencia de combustible fósil y nuclear, unido a la amenaza inminente de Cambio Climático por la expulsión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, ha provocado que se dé un impulso a las energías renovables.

El consumo mundial de energía de aquí a 2030 aumentará un 40% según previsiones de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) debido a, entre otros factores, la creciente demanda de los países emergentes. Por lo que urge una nueva política energética a nivel mundial ya que las reservas fósiles no serán suficientes y la contaminación empeorará a niveles incontrolados según la tendencia.

1.2- Situación en España

Todos estos datos afectan a España de manera directa debido a su fuerte dependencia de productos fósiles y la previsión de demanda energética futura.

El incremento del precio de los carburantes y otras materias primas contaminantes, así como las dificultades de extracción, pone de manifiesto la necesidad de un cambio profundo en el uso de la energía que hasta los últimos años no se ha llevado a cabo. En este apartado surge la aparición de energías limpias que no contaminan, eficientes, no dependientes, seguras, que buscan el crecimiento sostenible y que sirven para abastecer todo tipo de servicios.

En concreto en España el aumento del precio eléctrico corresponde, entre otros factores, al déficit tarifario y a la comercialización actual de las cinco grandes empresas que distribuyen la electricidad en el país **(1)**, produciéndose la siguiente variación en los últimos cinco años:

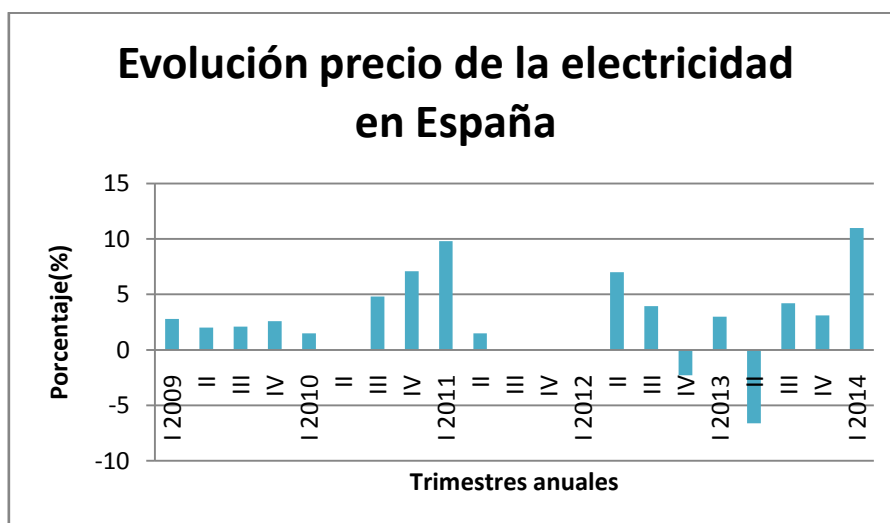


Figura 1. Evolución Precio de la Electricidad en España

En relación al aumento del precio del petróleo, la evolución durante los años de expansión hizo que aumentase el precio, obteniendo un máximo histórico en julio de 2008, cuando el barril de Brent se situó a 120 dólares/barril. A partir de ahí, la crisis financiera mundial propició un desplome absoluto de los precios del barril de 120 a 40 dólares/barril. Durante 2009 y 2010 se mantuvo el precio entorno a los 80 dólares/barril, pero finalmente, desde el año 2011 hasta hoy el petróleo se ha encarecido y la tendencia que seguirá en el futuro resulta desalentadora, puesto que seguirá en continua aumento **(2)**.

En el siguiente gráfico se puede visualizar la evolución del precio y todos los apartados destacados con importancia en el párrafo anterior que denotan la variación del precio del combustible fósil:

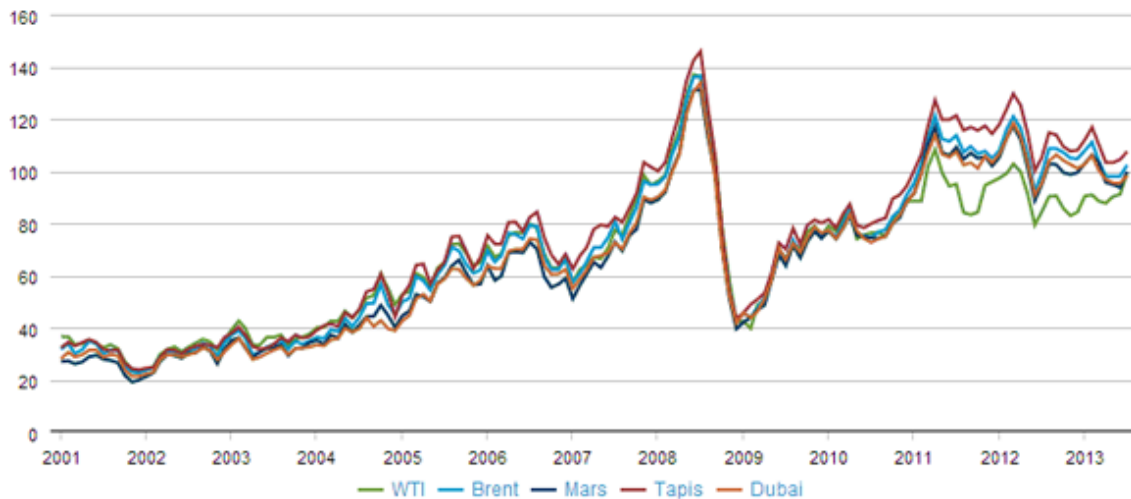


Figura 2. Evolución del precio (en dólares por barril) de petróleo. Fuente: U.S. Energy Information Administration

1.3- Formas de energía

La energía es capaz de realizar un trabajo. Con esa premisa, encontramos en la naturaleza diversas formas de extraerla. España es un país que contiene multitud de fuentes donde poder obtener esa energía primaria como puede ser gas, carbón, petróleo, energía nuclear o hidráulica. Pero España consume más energía de la que genera y se ve abocada a importar/exportar la energía según se consume/produce debido a que la demanda es continua.

La evolución en los últimos años del consumo de energía final en España queda marcada por la dependencia de productos petrolíferos, debido al reducido grado de autoabastecimiento, aunque, a partir de 2005, la energía renovable se abre paso aún habiendo disminuido su consumo total:

Introducción

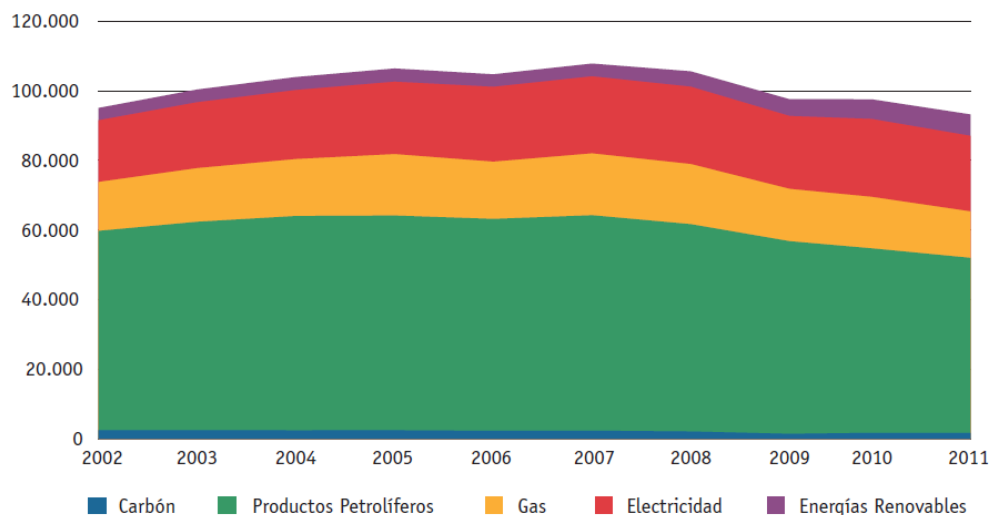


Figura 3. Evolución de consumo de energía final. Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Estadísticas y Balances Energéticos

En concreto, con los últimos datos estadísticos de los que disponemos, la distribución de la energía en 2012 se realizó de la siguiente manera:

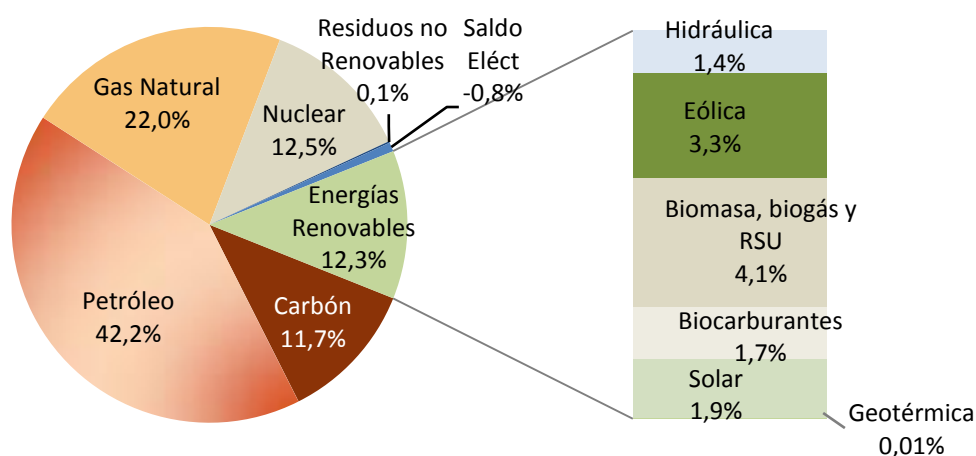


Figura 4. Consumo de energía primaria en España. Año 2012. Fuente: IDAE

En el diagrama circular se puede apreciar que los combustibles fósiles como el petróleo, carbón o gas natural abarcan más del 70% del total, pero las renovables van abriéndose camino desde que aparece la importancia de impulsar las energías limpias como fuente de progreso con un 12,3%.

En relación a la evolución de la potencia instalada podemos observar que éste es el dato determinante para concluir con el impulso del régimen especial (es como en España se denomina a la distribución y transporte que procede de tratamiento de residuos, biomasa, hidráulica y solar):

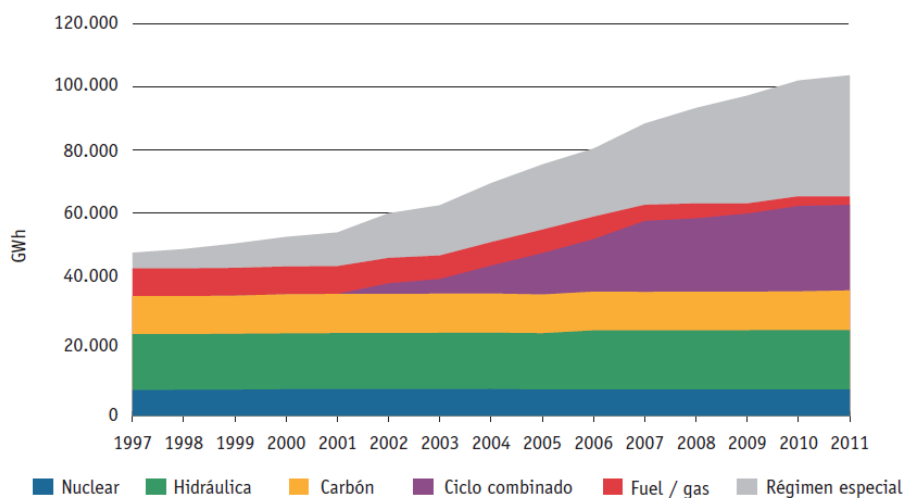


Figura 5. Evolución de la estructura de la potencia instalada en la península.
Fuente CNE a través de REE

Por último, cabe destacar la comparación más detallada entre las estructuras de potencia y producción bruta, donde la cogeneración y la solar fotovoltaica comprenden altos porcentajes, frente a la eólica que es la que más porcentaje obtiene debido a una promoción mayor en España para su desarrollo:

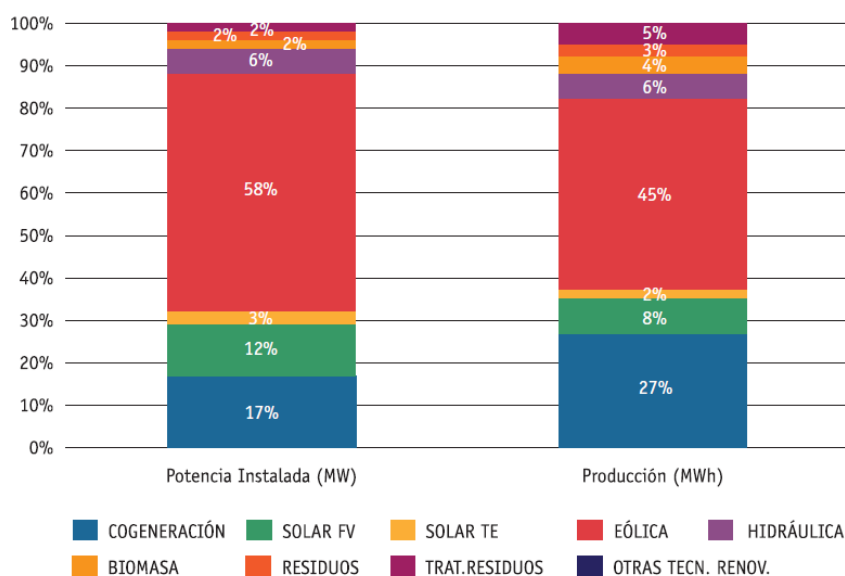


Figura 6. Comparación entre estructuras de potencia y producción bruta (Régimen especial).
Fuente: CNE

1.4- Medio Ambiente

La explotación de los recursos naturales ha estado íntimamente ligada a la historia de la humanidad. La capacidad de transformación del medio durante los primeros siglos de la especie es aún escasa, podemos seguir considerando al hombre como una especie más del ecosistema, hasta el siglo XVII, donde aparecen los primeros ingenios. Pero no es hasta el siglo XVIII cuando aparece la máquina de vapor con la Revolución Industrial cuando realmente comienza la transformación del medio natural.

El incremento de la energía disponible y la versatilidad de tareas que se llevaban a cabo con la máquina de vapor provocan un gran desarrollo industrial y agrícola, iniciándose sin control cambios ambientales de bosques en tierras para cultivo o variaciones en las explotaciones mineras de carbón para abastecer a las grandes aglomeraciones industriales.

Hacia 1950, se produce una segunda revolución, más agresiva aún con la aplicación industrial de la energía del tipo nuclear y el desarrollo en las telecomunicaciones. Obteniéndose en los últimos años energía accesible en prácticamente todos los lugares y con una gran capacidad de transformación.

Se plantea ahora el derroche de energía y los residuos que lleva consigo y que hasta ahora no se había realizado. El medio ambiente pasa a ser fuente de energía y receptor de productos que no sirven, sin pararse a pensar hasta hace pocas décadas el efecto que se estaba haciendo sobre él. Esto es así hasta niveles tan altos que se están produciendo desequilibrios ecológicos y que se deben paliar lo antes posible. Es ahí donde aparecen nuevas formas de energía que se pueden extraer del medio sin contaminar a tan alto nivel.

El aumento de la conciencia medio ambiental de los últimos años contribuye al auge en la implantación de nuevas formas de energía. Según IDAE **(3)**, los tres objetivos que deben cumplir los estados miembros de la Unión Europea, entre ellos España, para el año 2020, son: se debe reducir un 20% el consumo de energía primaria mediante la eficiencia energética, alcanzar una cuota global del 20% de energías renovables para el consumo bruto final y un 10% para el uso de renovables en el transporte.

Estas son las principales motivaciones que impulsan el crecimiento de las renovables, pero en la actualidad el crecimiento se ve mermado debido a la imposibilidad de financiación por parte de los organismos impulsores y a la falta de compromiso por todas las partes. En este apartado el sector fotovoltaico es el más afectado.

1.5- Energías Renovables en España

Las energías renovables se obtienen a través de medios naturales capaces de regenerarse por sí mismos y que constituyen una fuente prácticamente inagotable. Existen muchos tipos como son: Solar, Eólica, Biomasa, Marina, Geotérmica y Biocarburantes.



Figura 7. Energías renovables [1]

La situación de la industria en España presenta variaciones en los últimos años. Varios organismos estatales regulan la actividad energética del país. En este punto cabe destacar PANER (Plan de Acción Nacional de Energías Renovables) 2011-2020 promovido por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio que junto con IDAE impulsan planes para fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y cumplir con los objetivos nombrados en el apartado Medio Ambiente. Por otro lado, también está el CNE **(4)** organismo encargado de:

1.- Velar por una buena regulación energética; 2.- Asegurar el eficiente funcionamiento de los mercados energéticos; 3.- Salvaguardar la calidad y la seguridad del suministro energético; 4.- Contribuir al uso racional de la energía y a su desarrollo sostenible; 5.- Supervisar a los agentes que actúan en los mercados energéticos y las actividades reguladas; 6.- Responder a dudas y realizar informes de actividad energética; 7.- Desarrollar estudios y análisis sobre la regulación y el sector energético y proyectar la actividad del regulador mediante una estrategia global de comunicación.

1.6- Energía Solar

La solar es una fuente de energía renovable que se obtiene del Sol capaz de generar calor y electricidad. Nuestro planeta recibe del Sol $5,4 \cdot 10^{24}$ J, cifra que engloba 4.500 veces la energía total que se consume, por lo que supone una fuente con un potencial inmenso, prácticamente inagotable.

Su aprovechamiento máximo depende de varios aspectos a considerar como son las horas de radiación (cantidad de energía por unidad de tiempo y superficie), la inclinación, ciclos diarios y anuales y condiciones climáticas **(5)**. Podemos separar en tres los diferentes tipos de energía solar de acuerdo a la obtención de la electricidad:

- Solar Fotovoltaica: producen electricidad aprovechando directamente los rayos solares que inciden en las células fotovoltaicas que, agrupadas en módulos, se encargan de transformar la energía luminosa (fotones) en electricidad.
- Solar Térmica: que aprovecha el calor solar absorbiendo su energía en forma de calor a través de colectores solares térmicos.
- Solar Termoeléctrica: es la que se origina por procesos térmicos. De forma general se produce por el vapor procedente del calentamiento de agua que es conducido convenientemente para mover las turbinas generadoras de electricidad. Las plantas termoeléctricas se basan en la concentración de los rayos solares sobre un fluido. Cuando este fluido alcanza el grado de ebullición, el vapor que genera se usa para mover una turbina que posteriormente genera electricidad.

1.6.1- El Sol como recurso energético

En cuanto al Sol, podemos definir los siguientes conceptos que serán necesarios para entender cómo podemos expresar la cantidad de energía que recibimos para poder aprovecharla:

- **Radiación solar**: flujo de energía emitido por el sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias del espectro (luz visible, infrarrojo y ultravioleta). Existen diferentes tipos de radiación:

Radiación directa, que es aquella que llega del Sol directamente sin haber sufrido variación en su dirección.

Radiación difusa, que es la parte de la radiación que atraviesa la atmósfera por las nubes o que éstas absorben.

Radiación reflejada, reflejada por la superficie terrestre y que varía en función del coeficiente de reflexión de la superficie, siendo las verticales las que más radiación reflejada reciben.

Radiación global como suma de las anteriores y, por lo tanto, el total de la radiación.

- **Irradiancia:** magnitud que describe la radiación solar que llega hasta la tierra. En unidades de potencia por superficie [W/m^2].

- **Irradiación:** definida como la cantidad de irradiancia recibida en un tiempo determinado, en unidades de potencia por tiempo recibida por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m^2 .

- **Hora Solar Pico (HSP):** es la forma de expresar de manera más simplificada posible la irradiancia diaria, y por lo tanto, muy usada en unidades [W/m^2].

En concreto, podemos decir que el Sol irradia fuera de la atmósfera $1350 \text{ W}/\text{m}^2$, y que de esa cantidad, la máxima intensidad de irradiación terrestre corresponde con $1000 \text{ W}/\text{m}^2$, pudiendo ser un valor más alto en días despejados totalmente. Pero como se ha comentado, la irradiación no está distribuida de igual manera sobre la superficie terrestre ya que áreas cercanas al Ecuador reciben una cantidad mayor de energía solar que otros lugares.

Otros factores a destacar, y que pueden variar ese nivel de radiación, corresponden con la nubosidad, humedad del aire, lo despejado que esté el cielo y el resto de factores asociados al clima.

En el siguiente diagrama se tiene en cuenta la irradiación a lo largo de un día, obteniéndose máxima irradiación (W/m^2) en las horas centrales de la jornada, mientras que los extremos de la curva corresponden con la noche, cuando la irradiación es nula:



Figura 8. Diagrama horas día e irradiación

En cuanto a la trayectoria solar cabe destacar que, además de las condiciones atmosféricas, hay otro factor importante relacionado con el movimiento aparente del Sol que influye en la incidencia de la radiación. Este movimiento lo realiza la Tierra a lo largo del día y del año por lo que se denomina aparente ya que se refiere al movimiento de rotación y translación del planeta, y no el astro en sí.

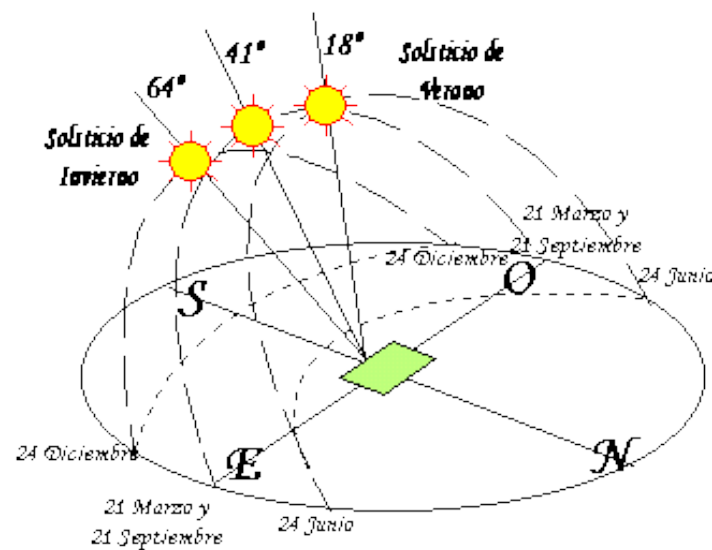


Figura 9. Movimiento aparente del Sol [2]

1.7- Energía Solar Fotovoltaica en España

España tiene un gran potencial en energía termo-solar aprovechando la radiación electromagnética procedente de Sol que recibe. Es un país en el que se distribuye homogéneamente la alta irradiación que recibe, con los beneficios que aportaría si el aprovechamiento fuese máximo. Pero en la actualidad sólo se produce una pequeña parte por falta de estímulo y financiación por parte del Gobierno y las Comunidades.

En el siguiente gráfico se muestra los altos niveles de radiación (en kWh) que presenta, así como las horas de Sol que tienen las diferentes Comunidades Autónomas, siendo una localización clave para poder instalar sistemas que utilicen este tipo de energía limpia:

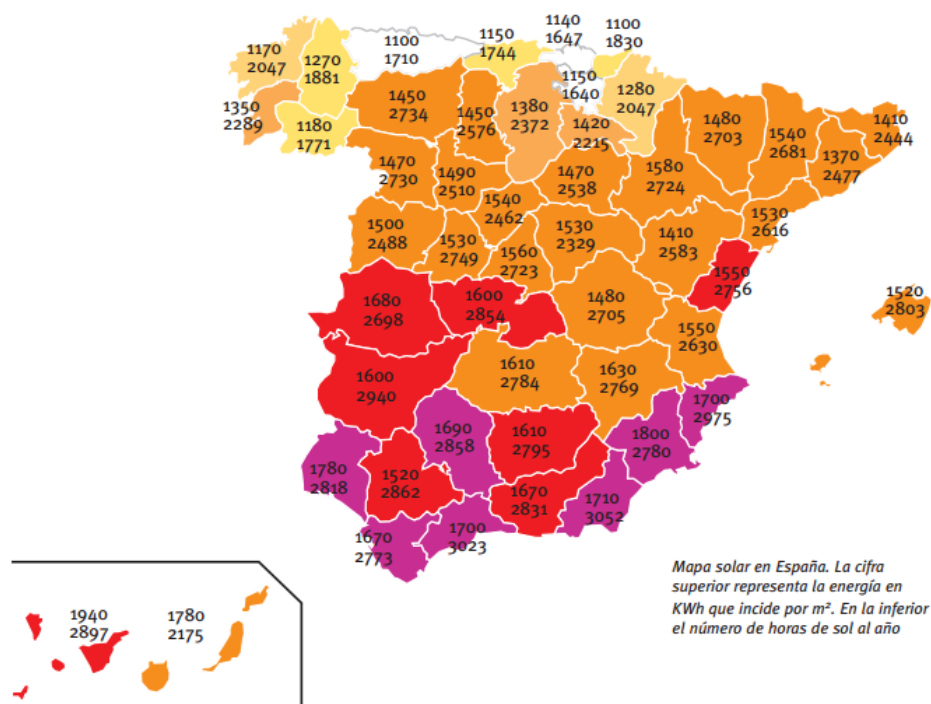


Figura 10. Mapa Solar de España. Fuente: IDAE

En total, con los últimos datos disponibles de 2012, el aumento del uso de fotovoltaica fue de un 10,1% respecto al año anterior, obteniéndose mayores concentraciones en los meses de mayo, junio, julio y agosto donde la radiación es mayor sobre la superficie por los factores destacados en el apartado anterior. Datos proporcionados por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

El parque fotovoltaico español conectado a la red, con más de 4.500 MW instalados y más de 60.000 instalaciones, representa un 4% de la potencia total instalada en España. El objetivo para el año 2020 corresponde con obtener 7250 MW como se muestra en evolución:

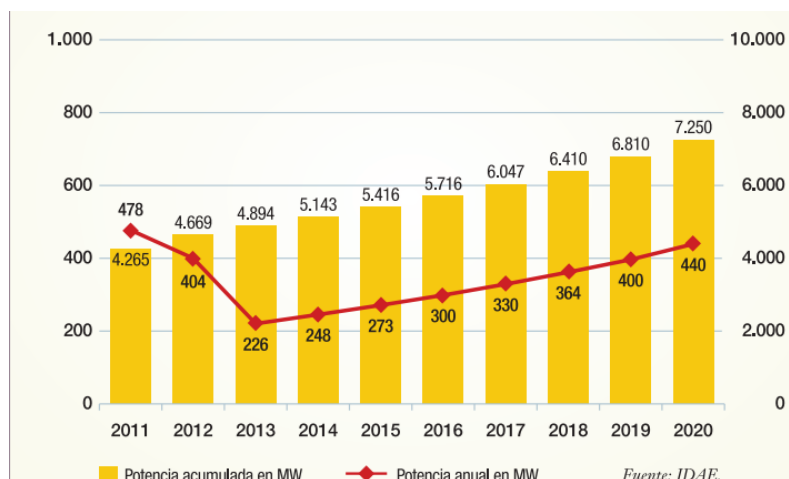


Figura 11. Evolución de la Potencia Fotovoltaica anual y acumulada hasta 2020. Fuente: IDAE

Por Comunidades Autónomas, el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica varía dependiendo de las políticas aplicadas para el uso de las renovables. Cabe destacar Castilla-La Mancha que se sitúa a la cabeza acumulando un mayor volumen de potencia fotovoltaica instalada, con 905 MW hasta diciembre de 2012. El resto se distribuye de la siguiente manera:

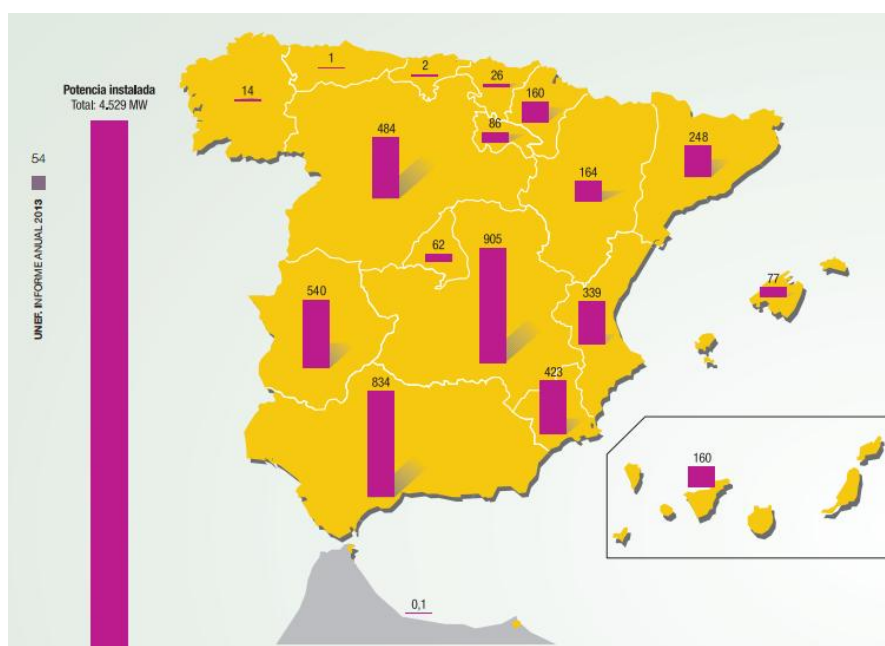


Figura 12. Potencia Fotovoltaica conectada por Comunidades Autónomas. Año 2012. Fuente: CNE

Durante los primeros años de implantación de la tecnología fotovoltaica, el crecimiento fue débil, hasta 2008, cuando España se convirtió líder en implantación incluso por delante de Alemania (líder común en el sector), con más de 2.500 MW instalados. Pero después de la divulgación del RD 1565/2010 y RD 14/2010 que modifica ciertos apartados, complicando las instalaciones sobre suelo y centrándose más en instalaciones sobre tejados, el mercado sufrió una parada en el desarrollo que estaba teniendo. Finalmente con la nueva legislación del Real Decreto 1699/2011 se favorece el autoconsumo pudiendo suponer un potencial añadido si se favorece tal y como se está realizando.

Por último, destacar que el coste de los módulos fotovoltaicos se ha visto reducido en los últimos años, favoreciendo la adquisición e implementación de estos sistemas, ya que son la pieza fundamental. Su evolución a lo largo de los años ha sido la siguiente:

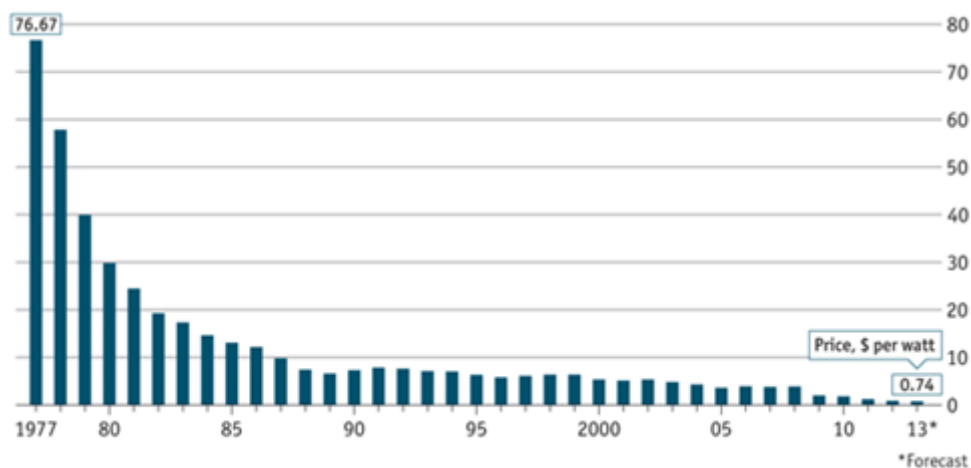


Figura 13. Evolución del precio de células fotovoltaicas de silicona cristalina (dólares por watio)

CAPÍTULO 2

Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos son un conjunto de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos cuya principal característica es transformar la energía solar en energía eléctrica. La energía generada es corriente eléctrica continua que generalmente es transformada en corriente alterna para su consumo. Cabe destacar el enorme potencial de estos sistemas al utilizar la energía solar que es prácticamente infinita.

2.1- Células solares fotovoltaicas

Los paneles fotovoltaicos están compuestos generalmente por células de material semiconductor, generalmente silicio, que pueden ser monocristalinas (con un único cristal de silicio), policristalinas (varias partículas cristalizadas) o amorfas (con silicio no cristalizado). Juntando varias de estas células se crea un módulo conectado a su vez en serie o en paralelo para realizar su función.

Obtención y principio de funcionamiento

Centrándose en las células de silicio, el proceso de obtención de la célula solar mono o policristalinas es el siguiente:

-Fase 1: obtención del silicio

A partir de rocas ricas en cuarzo abundantes en la naturaleza (que están formadas fundamentalmente por SiO_2). Se lleva a cabo un proceso de reducción del carbono, obteniendo Silicio con pureza del 99%. Denominándose “silicio de grado metalúrgico”.

Se purifica este silicio por procesos químicos hasta reducir la concentración de impurezas en 2 ppm, obteniéndose “silicio grado semiconductor” siendo éste el usado en muchos casos para la fabricación de células en aplicaciones solares. Aún así, aunque ya son de uso solar, existen células en las que la concentración de impurezas disminuye hasta 1 ppm consideradas “silicio de grado solar”.

-Fase 2: cristalización

Cuando el Silicio se ha fundido, comienza la cristalización resultando un monocristal si el proceso de solidificación concluye con éxito, se forman lingotes, aunque existen otros métodos donde se obtiene el silicio cristalino de forma laminada directamente.

Se obtienen las estructuras monocristalina, si tiene un único frente de cristalización, y policristalina, si se obtiene varios frentes de cristalización. La diferencia fundamental que presentan se asocia a la fase de crecimiento y recrystalización debido a la pureza del silicio.

-Fase 3: obtención de obleas

Formación de obleas a partir del lingote formado. Es un proceso importante ya que puede suponer pérdida de hasta la mitad del material. El espesor de dichas obleas oscila entre 2 y 4 mm.

-Fase 4: fabricación de los módulos

Se realiza un proceso de decapado para eliminar irregularidades y defectos producidos durante el corte. Se realiza un proceso de texturizado (sólo las de naturaleza monocristalina) de forma que se consiga mayor eficiencia posterior en captación de radiación incidente.

Después, se lleva a cabo la formación de la unión de tipo P-N. Este tratamiento trata de introducir impurezas, generalmente átomos de fósforo (unión N) y boro (unión P), que generan un campo magnético y quedan expuestas a cualquier iteración posible que genere un campo eléctrico cuando están expuestas a la luz solar.

Finalmente, se forman los contactos metálicos diferenciando la cara que tomará contacto con el Sol (en forma de rejilla para permitir el paso de luz) y la que no estará expuesta que será completamente metálica.



Figura 14. Monocristalino (izda.) Policristalino (dcha.)

También existen células de Silicio amorfo, cuya principal característica es que presentan espesores muy delgados. Con un proceso de transformación más simple que para las citadas anteriormente y por lo tanto más económicas. En contra el rendimiento que presentan es inferior, alrededor del 6-8% y no son muy estables. En la actualidad se usan para relojes, juguetes y otros productos de consumo.



Figura 15. Células de silicio amorfo

Los valores significativos que miden relaciona la cantidad de energía contenida en relación con el campo eléctrico que circula (eficiencia de conversión). Estos valores en el mercado están alrededor del 15%, mientras que en el laboratorio superan el 30%. En cada célula, en función de su naturaleza, son:

Monocristalina: 16-25% eficiencia

Policristalina: 12-13% eficiencia

El espesor se sitúa entre los 0,25 y 0,35 mm y están dispuestas de forma cuadrada, con una superficie entre 100 y 225 m², una radiación de 1 kW/m² a una temperatura de 25°C. La corriente está comprendida entre los 3 y los 4 A. Una tensión de aproximadamente 0,5 V y una potencia de 1,5 a 2 W de pico.

Efecto fotoeléctrico

El dispositivo presenta la propiedad denominada efecto fotoeléctrico, donde al incidir luz sobre una superficie se realiza la formación y liberación de partículas cargadas eléctricamente que se mueven del cátodo al ánodo por la influencia de un campo eléctrico.

La capa superior está compuesta por silicio dopado que contiene la unión n, mientras que la inferior contiene la unión p. Cuando el semiconductor se expone a la luz, el fotón que llega arranca el electrón dejando un hueco y ocupando un espacio vacío, y así sucesivamente.

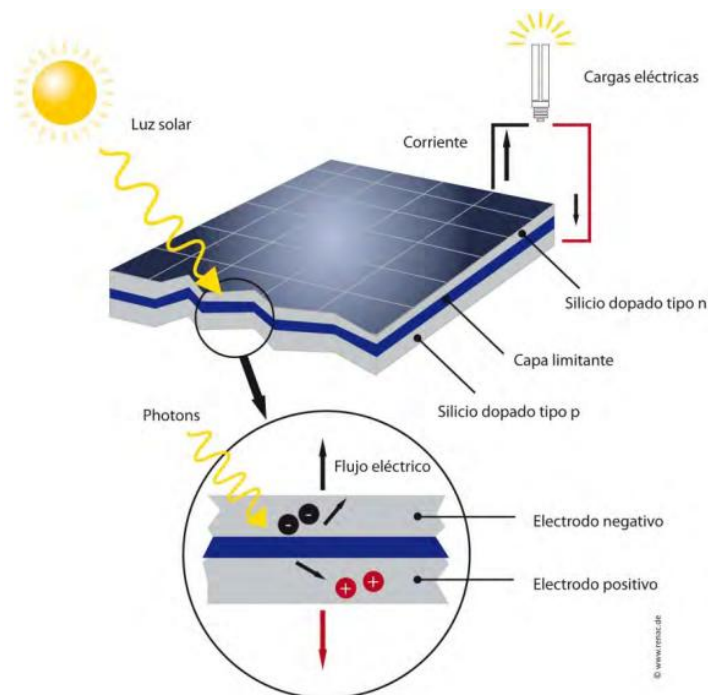


Figura 16. Funcionamiento celda solar. Fuente: Renac

Parámetros destacados

En cuanto a las características eléctricas que poseen los módulos solares, podemos destacar:

Características eléctricas de un módulo fotovoltaico:

- En casos extremos:

Corriente de cortocircuito (I_{sc}) que corresponde con la corriente máxima que puede conseguir el módulo al recibir radiación. Se obtiene al medir en cortocircuito la corriente que pasa por los bornes sin resistencia adicional, debido a eso, la diferencia de potencial obtenida es nula. Su unidad de medida es el amperio (A).

Voltaje a circuito abierto (V_{oc}) es el voltaje máximo que se mide en bornes de un módulo cuando no pasa corriente (suponiendo resistencia infinita) al recibir radiación solar. Su unidad de medida es el voltio (V).

El circuito tendrá una intensidad que variará entre 0 e I_{sc} , mientras que la tensión obtendrá un valor entre 0 y V_{oc} .

- Potencia, factor de forma y eficiencia de conversión energética

La potencia P que podemos calcular de un módulo se determina por la ecuación: $P = I \cdot V$. Al conectar una cierta carga al módulo solar se obtiene un punto de trabajo que siempre está determinado por la corriente I y la tensión V del circuito presentes en dicha ecuación. Estos valores serán menores que I_{sc} y V_{oc} .

El valor más alto que podemos obtener se denomina **Potencia máxima o Potencia pico del módulo (P_{max} , P_{mp})** donde los módulos solares trabajarán a máxima potencia. Esto sucede cuando la resistencia externa del circuito sea tal que el producto de I por V sea máximo, aunque generalmente no trabaje a máxima potencia debido a las restricciones del propio circuito. Su unidad de medida se expresa en vatio pico (Wp).

Debido a esa medida de potencia máxima aparecen los términos V_{mp} e I_{mp} :

- El término **V_{mp}** se refiere a la **Tensión a máxima potencia** que es capaz de ofrecernos bajo determinadas condiciones de radiación y temperatura. Corresponde con la tensión nominal del módulo (V).
- El término **I_{mp}** se refiere a la **corriente a máxima potencia** que es capaz de ofrecernos bajo determinadas condiciones de radiación y temperatura. Corresponde con la corriente nominal del módulo (A).

Factor de forma es el cociente que relaciona la potencia máxima o pico del módulo P_{max} , con el producto de I_{sc} y V_{oc} .

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Eficiencia de conversión energética es el cociente entre la potencia eléctrica producida y la potencia incidente de radiación ($P_{incidente}$).

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{incidente}}$$

En las hojas de características técnicas se pueden extraer otros datos de interés: parámetros térmicos, rango de funcionamiento o características físicas como peso, cables, conectores, etc., que se podrán comparar con el fin de elegir entre los valores que pueden obtenerse.

■ Gráficamente:

El objetivo es establecer la relación I-V y P-V de los módulos fotovoltaicos para poder conocer el punto de máxima transferencia de potencia.

El comportamiento eléctrico que presentan los módulos se expresa mediante las siguientes curvas en diferentes condiciones:

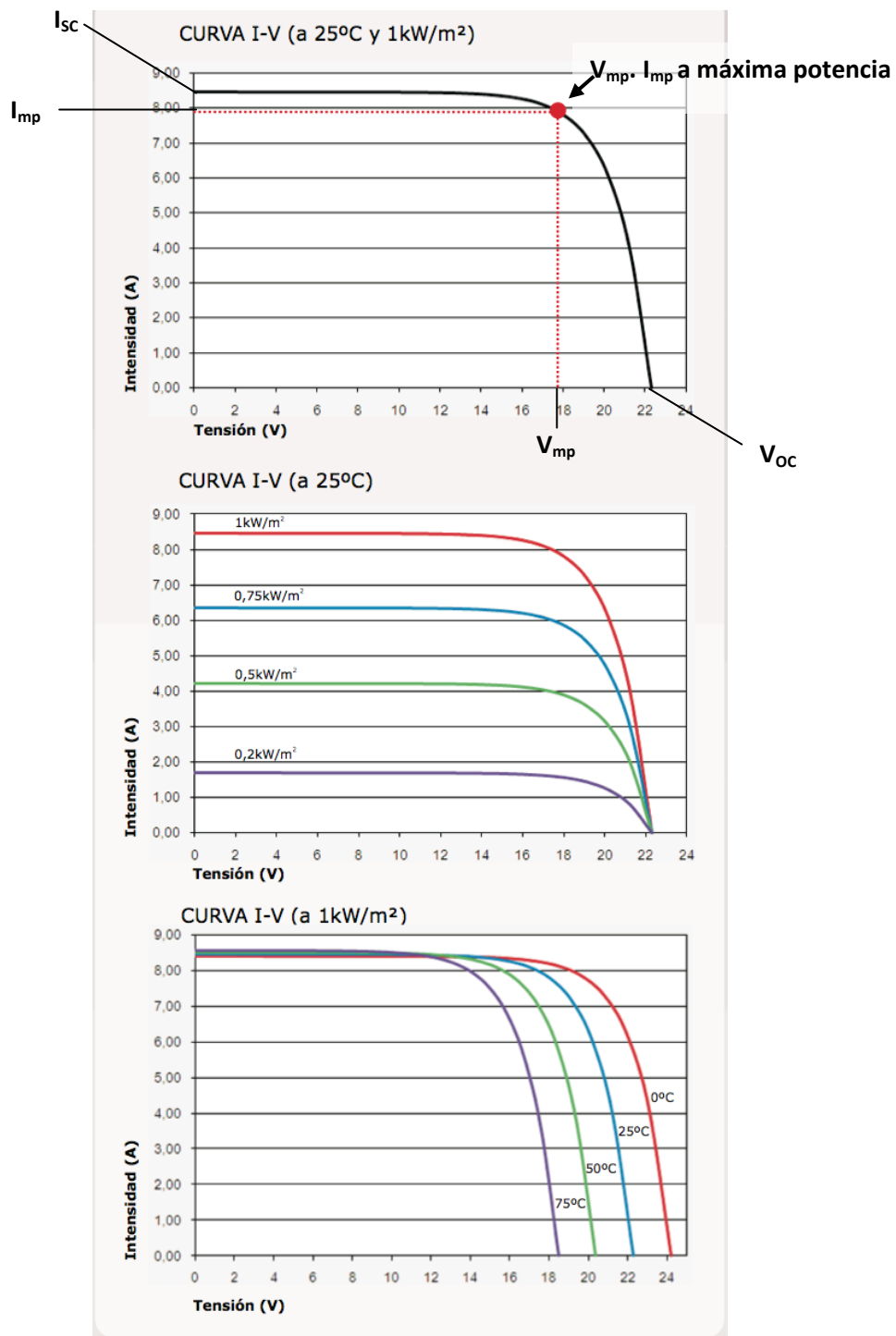


Figura 17. Curvas I vs V

En la primera de ellas, se obtiene la relación I frente a V a través de prueba bajo condiciones estándar de irradiancia de 1 kW/m^2 y una temperatura de celda de 25°C . Se señalan los puntos correspondientes a los valores de tensión y corriente cuando se alcanza la máxima potencia (I_{mp} y V_{mp}), así como la tensión a circuito abierto V_{oc} y la corriente a cortocircuito I_{sc} .

En la segunda gráfica, se puede observar la dependencia que presenta la corriente en función de la tensión para distintos valores de irradiación (medida a una temperatura constante de 25°C).

La última representación aporta la relación entre la intensidad y el voltaje medido con una irradiancia constante de 1 kW/m^2 y variando en este caso la temperatura.

En la relación P - V , se obtiene el valor de máxima potencia P_{max} a través de los puntos I_{mp} y V_{mp} . Todo ello según las características del módulo en particular con los valores proporcionados por el fabricante para cada módulo. Gráficamente de forma general se muestra así:

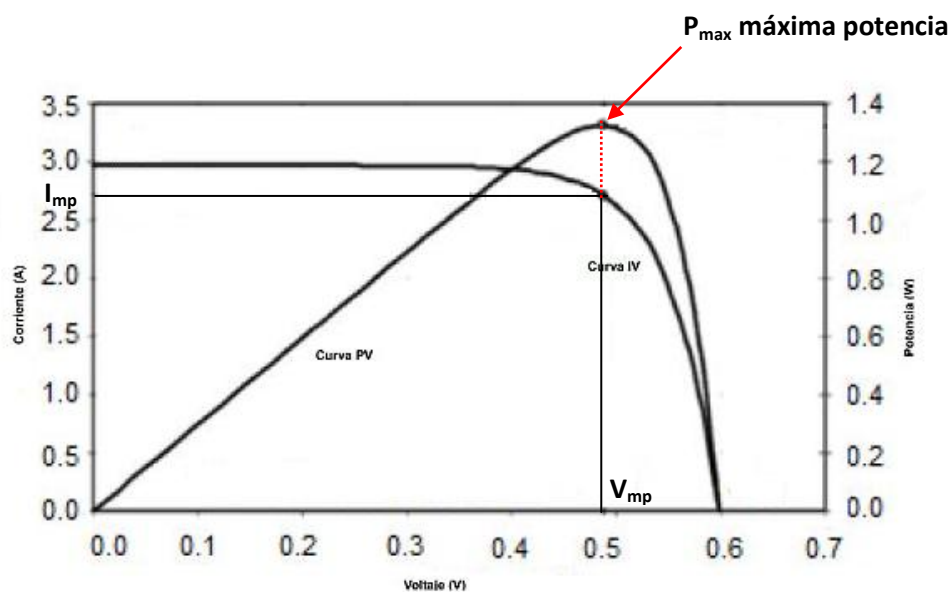


Figura 18. Curva P-V

Inclinación de módulos fotovoltaicos

La radiación solar que incide sobre una placa variará en función del ángulo que forme la misma con la radiación. La captación de energía solar será máxima cuando la posición de la placa solar sea perpendicular a la radiación.

Sobre una base anual, existe una inclinación para optimizar la obtención de energía en las instalaciones de los módulos fotovoltaicos fijos, ya que conocemos que a lo largo del año la inclinación de los rayos del sol varía respecto a la superficie horizontal en la que inciden. Para ello, la solución mejor es calcular aquel ángulo respecto al plano horizontal que maximice la potencia media anual que reciben los módulos solares.

De manera general, este ángulo suele coincidir con la latitud del lugar donde se lleva a cabo la disposición de los módulos, tomando finalmente un ángulo, aproximadamente 15º superior, para favorecer la captación en invierno en detrimento de obtener una potencia menor en verano.

Hay que tener en cuenta los posibles errores que se pueden cometer, así como todos los factores meteorológicos como la humedad relativa o la velocidad del viento.

Orientación de módulos fotovoltaicos

La orientación está relacionada con la trayectoria del Sol, simétrica de Este a Oeste respecto a la que ocupa durante el mediodía (donde la irradiación es máxima). Por ello, la orientación adecuada de los colectores es hacia el Sur. Si no es posible establecer exactamente el Sur, la variación aproximada que debe tomar es de 15º.

Las pérdidas que se obtendrían debido a desviaciones Oeste-Este serían considerables si se superan los 30º, mientras que si el ángulo fuera inferior a 30º la variación se estima en un 5% y no serían pérdidas tan graves.

Conexión de módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos ofrecen la posibilidad de conectarse en serie o en paralelo para formar un generador fotovoltaico completo acorde a las características que sean necesarias en cada momento.

- Módulos en serie: se disponen los módulos de forma que se une el polo positivo de uno con el polo negativo de otro para que por ellas circule la misma corriente, mientras que la tensión final será la suma de las tensiones individuales de cada módulo por separado. Se pueden conectar tantos módulos juntos como tensión final se desee.

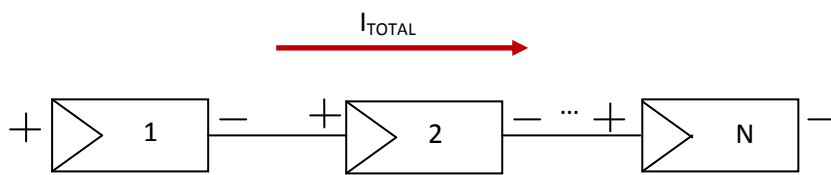


Figura 19. Esquema conexión serie de módulos fotovoltaicos

$$V_{TOTAL} = \Sigma V_{módulos}$$

- Módulos en paralelo: en este caso se unen los polos positivos por un lado y los negativos por otro para lograr la misma tensión que tiene uno de los módulos y una corriente multiplicada por el número de módulos que se unen. Se pueden conectar tantos módulos juntos como corriente final se desee.

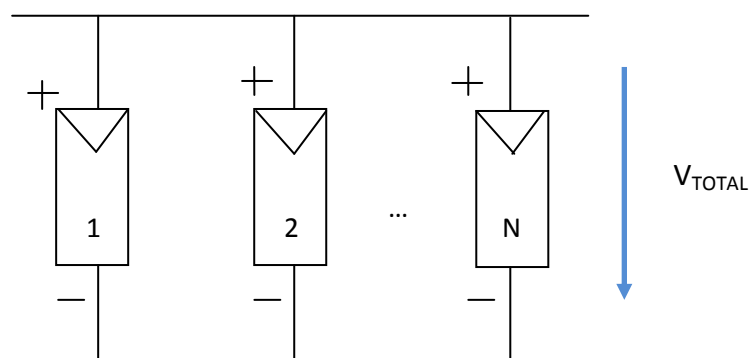


Figura 20. Esquema conexión paralelo de módulos fotovoltaicos

$$I_{TOTAL} = \Sigma I_{módulos}$$

En conclusión, si lo que necesitamos es aumentar la tensión, dispondremos en serie los módulos, mientras que si necesitamos que la corriente sea alta, se asociarán en paralelo:

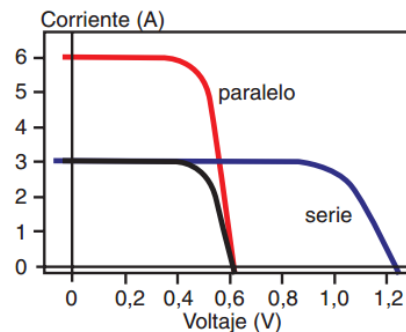


Figura 21. Diferencias curva I-V conexión serie o paralelo

Estructura de módulos fotovoltaicos

La estructura que soporta los módulos está diseñada en función de varios factores a considerar como son el peso que debe aguantar, la resistencia a los agentes atmosféricos, la cimentación o su disposición final (fija o móvil).

- Estructuras fijas sobre el terreno: son estructuras de celosía para ser ligeras, de gran superficie. Cimentadas en cemento o ancladas mediante bloques de hormigón.

Su principal ventaja es el precio, ya que son bastante económicas, pero presentan el inconveniente del posible efecto vela que puede hacer el aire sobre los módulos, por lo que será fundamental la elección correcta del material de sujeción al suelo.

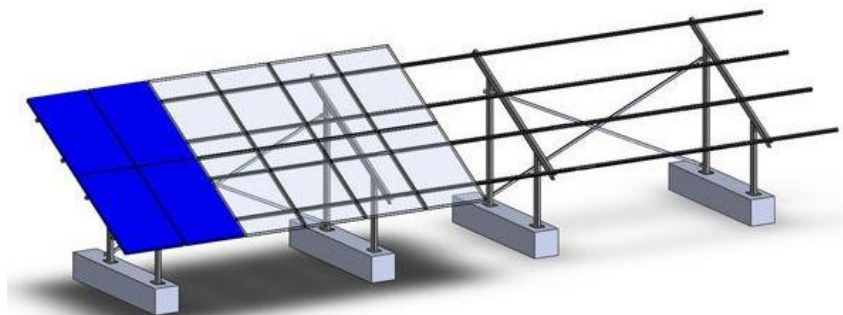


Figura 22. Estructura fija sobre el terreno [3]

- Sobre seguidores: permiten un aumento en el rendimiento de la instalación al estar orientados en cada instante hacia la dirección del Sol. Pueden diseñarse para multitud de modelos independientemente de su potencia. Son más caros que las estructuras fijas, pero por el contrario, compensa con el paso del tiempo al tener un mayor rendimiento.



Figura 23. Estructura orientable sobre seguidores [4]

- Sobre tejado: los módulos fotovoltaicos también se pueden colocar en tejados aprovechando amplias cubiertas como pueden ser la de las naves industriales, aunque también es un recurso muy utilizado en viviendas. Una de las características fundamentales que debe cumplir el tejado donde colocar los módulos es que esté preparado para aguantar el peso de la instalación.



Figura 24. Módulos solares sobre una nave industrial (izda.) y sobre tejado de una vivienda (dcha.) [5]

Tipos de seguidores en módulos solares

El primer concepto fundamental para entender el movimiento de los seguidores solares se centra en la definición de acimut solar. Acimut solar (A), es el ángulo de giro del Sol medido en el sentido de las agujas del reloj entre el punto cardinal Sur (en el hemisferio norte) o Norte (en el hemisferio sur) y la proyección sobre el plano horizontal local de la recta que una la tierra con el Sol. Se mide en grados.

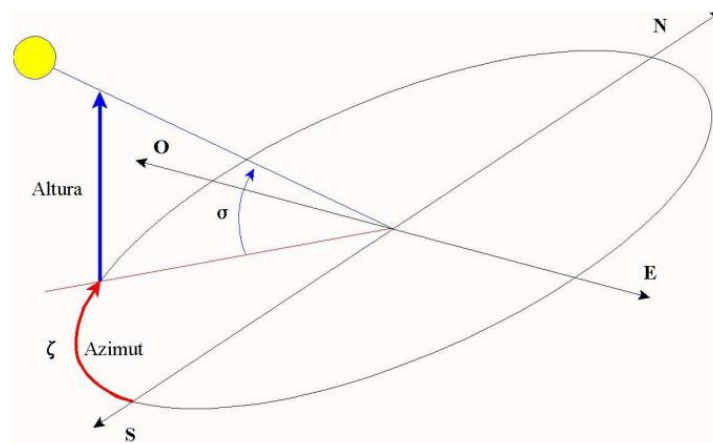


Figura 25. Ángulo Acimut [6]

El acimut solar tiene valor negativo por la mañana (dirección Este), nulo o igual a 180° a mediodía y toma valor positivo por la tarde (dirección Oeste) en todo el planeta.

Una vez conocido el ángulo acimut solar se puede diferenciar los tipos básicos de seguidores que podemos encontrar:

- Los seguidores de un eje rotan alrededor de dicho eje, moviéndose a lo largo del acimut de este a oeste en el transcurso del día.
- Los seguidores de doble eje se mueven no únicamente a lo largo del acimut fijo sino que varían el ángulo de elevación.

2.2- Resto de elementos Sistemas Fotovoltaicos

Características destacadas

En cuanto a las características de los demás componentes de las instalaciones fotovoltaicas destacan:

➤ **Características baterías/acumuladores:**

La batería es una fuente de tensión continua formada por vasos electroquímicos que almacena la energía que produce el sistema. Mientras que los acumuladores son la asociación eléctrica de baterías. Sus principales finalidades son:

- Almacenar energía durante un número concreto de días (fijados para la instalación).
- Ser capaz de proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Sus características a destacar son:

Autodescarga: se denomina así a la pérdida de carga de la batería cuando permanece en circuito abierto. Se suele expresar como porcentaje de la capacidad nominal que se mide durante un mes a una temperatura de 20 °C.

Capacidad nominal: C_{20} expresada en amperios por hora (Ah)

Cantidad de carga que es posible extraer de una batería en 20 horas, a 20°C de temperatura y hasta que la tensión entre sus terminales llegue a 1,8 V/vaso. Existen otras relaciones empíricas para diferentes valores y son: $C_{100}/C_{20} \approx 1,25$, $C_{40}/C_{20} \approx 1,14$, $C_{20}/C_{10} \approx 1,17$.

Capacidad útil: capacidad disponible de la batería. Se define como el producto de la capacidad nominal y la profundidad máxima de descarga permitida, PD_{max} .

Estado de carga: cociente entre la capacidad residual de una batería, en general parcialmente descargada, y su capacidad nominal.

Profundidad de descarga (PD): cantidad de energía que se obtiene de la batería durante una determinada descarga. Se expresa como el cociente entre la carga extraída de una batería y su capacidad nominal en %.

Régimen de carga/descarga: relación entre la capacidad nominal de la batería y el valor de la corriente a la cual se realiza la carga o descarga. Expresada en horas (h) como subíndice en la C de la capacidad.

Su vida útil se marca en función de la capacidad de almacenamiento y rendimiento. Como todos los componentes, sufre problemas de envejecimiento que pueden deberse a los siguientes factores como: degradación de placas positivas, negativas, estratificación o autodescarga. También debido a otros factores como la temperatura de operación, la sobrecarga, la profundidad de descarga o el mantenimiento.

Los tipos de baterías que existen se clasifican según la tecnología de fabricación y el electrolito utilizado. Podemos clasificarlas en:

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de descarga (horas)	Autodercarga por mes	Número de ciclos
Plomo-ácido	2	8 – 16	<5%	Medio
Ni-Cd	1.2	1	20%	Elevado
Ni-Mh	1.2	2 - 4	20%	Medio
Li ion (litio ión)	3.6	2 - 4	6%	Medio-bajo

Tabla 1. Clasificación según tipos de baterías existentes

Las más utilizadas son las de plomo ácido por las características que ofrecen en general. En instalaciones solares pueden ser: tubulares, arranque, solar y gel.

➤ **Características regulador de carga:**

Dispositivo encargado de proteger a la batería de sobrecargas y sobredescargas. El regulador de tensión se encarga de controlar continuamente el estado de carga de las baterías y regular la intensidad de las mismas para alargar su vida útil. Genera alarmas en función del estado de dicha carga. Hay funciones que no se incluyen en el regulador en caso de utilizar otro elemento encargado de realizarlas.

Debido a que los generadores solares poseen tensiones nominales superiores a la batería, si éste no estuviera se podrían producir las sobrecargas.

Tensión de nominal: que es la tensión de trabajo de la instalación y se corresponde con la tensión nominal de las baterías. Suele tener valor de 12 o 24 V, aunque a veces puede llegar a los 48 V.

Intensidad máxima de generación: máxima corriente recibida de los módulos solares que el regulador es capaz de admitir.

Intensidad máxima de consumo: máxima corriente que se puede proporcionar desde la instalación de regulación a los equipos de consumo.

Pérdida máxima generación/consumo: valor que está relacionado con las caídas de tensión internas. Este valor al modificar las tensiones de trabajo puede producir pérdidas de energía.

Sobrecarga: porcentaje sobre valor nominal que es capaz de aguantar el regulador sin estropearse.

➤ **Características inversor:**

Elemento encargado de convertir la corriente continua en alterna. Las características que deseables para su correcto funcionamiento son:

- Alta eficiencia ya que debe funcionar bien en un rango amplio de potencias.
- Bajo consumo en vacío (cuando no hay cargas conectadas).
- Regular el valor eficaz de salida V_{RMS} .
- Alta fiabilidad y seguridad.
- Protección contra cortocircuitos.
- Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida.

Y los valores a tener en cuenta son:

Tensión de entrada: que debe coincidir con la tensión nominal de las baterías. Se expresa en voltios (V).

Potencia nominal: potencia capaz de entregar el inversor a la instalación expresada en vatios (W).

Capacidad de sobrecarga: capacidad del inversor para entregar mayor potencia que la nominal durante ciertos intervalos de tiempo.

Rendimiento del inversor: relación entre la potencia real entregada y la potencia de entrada por el convertidor. Depende de la potencia y de la temperatura de operación. Se expresa en tanto por ciento (%).

Factor de potencia: cociente entre la potencia activa (W) y la potencia aparente (VA) a la salida del inversor.

Distorsión armónica total: indica la posible degradación de la onda, indicando los armónicos de la onda de tensión de salida. Suele ser menos del 2% cuando trabaja a la potencia nominal.

Con todo ello, pueden ser monofásicos o trifásicos a 50 Hz, con distintos voltajes nominales y gran variación de potencias disponibles.

2.3- Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Existen dos configuraciones posibles mediante sistemas que utilizan la energía solar fotovoltaica. Estos son:

- Sistemas Autónomos o Aislados
- Sistemas Conectados a la Red

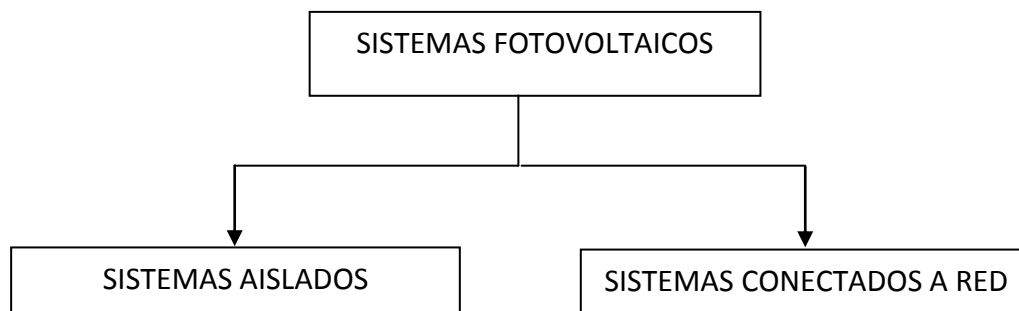


Figura 26. Diagrama general tipos de sistemas fotovoltaicos

2.3.1- Sistemas Autónomos o Aislados

Los sistemas autónomos se caracterizan por proveer la energía eléctrica sin ningún tipo de conexión a la red. Suelen usarse en lugares aislados donde no es sencilla la conexión a suministro eléctrico debido a su difícil acceso por lo que resulta una gran alternativa.

Componentes sistemas autónomos

Los sistemas fotovoltaicos autónomos constan de:

- Módulos Fotovoltaicos: unión de varias células fotovoltaicas encargadas de captar los fotones procedentes de la radiación solar.
- Acumuladores/Baterías: que almacena la energía que el sistema produce.
- Regulador de carga: capaz de cargar en el sistema la energía.
- Inversor: encargado de transformar la corriente continua obtenida directamente de los módulos fotovoltaicos en corriente alterna para uso del usuario.

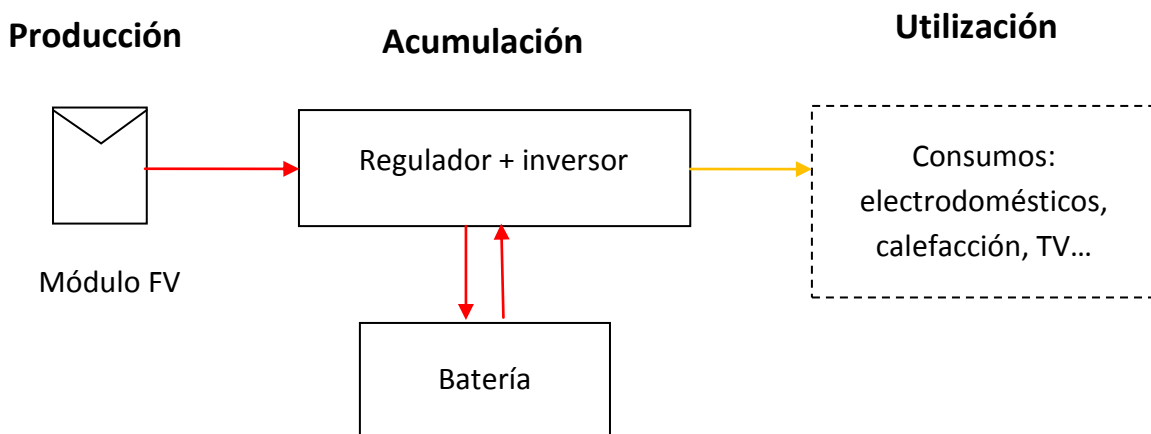


Figura 27. Funcionamiento general de un sistema autónomo en AC

Además, en cualquier instalación de sistemas fotovoltaicos que se desee diseñar se deben calcular adecuadamente las secciones de los conductores, minimizando las longitudes del cableado para conseguir también las mínimas caídas de tensión en los circuitos formados por los módulos FV, el regulador, los inversores y las baterías.

La incorporación al sistema de un inversor para poder conectar consumos en corriente alterna produce una disminución en el rendimiento de operación del sistema cuando se trabaja a potencias inferiores a la potencia nominal del inversor según la curva típica de rendimiento de inversores autónomos. Por ejemplo, si disponemos un sistema fotovoltaico autónomo de consumo en alterna con potencia nominal 1kW usado únicamente para encender una bombilla de bajo consumo de 18W, en esta situación se haría funcionar en muy bajo rendimiento al inversor. Por esta razón todos los consumos suelen ser en AC, mientras que la iluminación se suele diseñar con consumos en DC.

Módulo Fotovoltaico

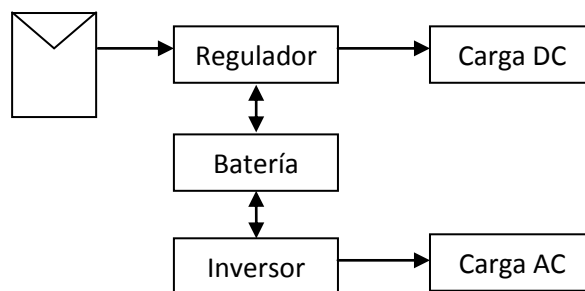


Figura 28. Esquema general básico de un sistema fotovoltaico autónomo en AC

Funcionamiento de sistemas autónomos

En primer lugar, se debe realizar un dimensionado lo más adecuado posible de la instalación con el objetivo de diseñar bien los componentes a utilizar para que cubra al 100% las necesidades de la instalación, ya que al no estar conectado a la red no hay posibilidad de utilizar otra tecnología auxiliar.

Los módulos solares fotovoltaicos deben estar dispuestos de forma que el aprovechamiento de la radiación solar sea máximo en cada momento del día. Por ello, la orientación e inclinación debe ser óptima.

Los reguladores de carga por su parte son capaces de almacenar la energía procedente de los módulos solares en las baterías y permiten proteger al sistema de sobrecargas/sobredescargas. Además pueden llevar a cabo otras funciones como es la vigilancia de la temperatura de la batería, monitorización, alarma o visualización del proceso.

La función clave la realizan mediante su mecanismo de control. Existen dos formas de controlar el regulador: en serie o en paralelo. En serie, cuando la batería está completamente cargada, el módulo FV se pone en circuito abierto. Es la forma más usada. En paralelo deriva la corriente que pasa por los módulos FV por un dispositivo que la disipa (MOSFET) y está conectado en paralelo a la batería. También se utiliza como medio de control el PWM que a partir de una determinada tensión produce una carga pulsada.

Los acumuladores o baterías deberán almacenar la energía suficiente en los periodos de menor insolación del día para poder alimentar todas las cargas que estén conectadas al sistema, además se pueden utilizar para estabilizar el voltaje o la corriente e incluso suministrar picos de corriente (por ejemplo en el arranque de motores). Están formadas por elementos de dos voltios capaces de aportar tensiones de trabajo de 12, 24, 48V o más.

El uso de baterías en instalaciones aisladas de la red resulta imprescindible puesto que los periodos de irradiación varían y los módulos no generan una corriente eléctrica continua a lo largo del día, por lo que requiere que funcionen conforme a las capacidades de los dispositivos instalados. Al ser instalaciones autónomas que necesitan descargas profundas, la mejor opción es elegir baterías plomo-ácido de tipo tubular.

Los inversores cumplen con la conversión de corriente continua en alterna, funcionando a modo de interruptores que permiten interrumpir las corrientes e invertir la polaridad, así como regular el valor eficaz de tensión de salida.

Finalmente, destacar que la instalación estará ligada al estudio de las costumbres del usuario puesto que la demanda puede variar dependiendo del consumo de electricidad a lo largo de la jornada, mes o incluso año.

Las **ventajas** que presentan este tipo de sistemas se corresponden con un alto grado de autonomía evitando pérdidas por transporte, facilidad para dotar de electricidad a superficies remotas, reducción de costos conforme a los mercados y procesos de manufactura al producir directamente la electricidad que se consume, minimizar el impacto de instalaciones alrededor y bajo coste de mantenimiento.

Por otra parte se generan algunos **inconvenientes** a largo plazo para rentabilizar la inversión, cambios en la normativa o la continua actualización de los dispositivos que requieren mayor gasto de dinero.

Aplicaciones sistemas autónomos

La utilización de estos dispositivos está en auge, ya que ha supuesto toda una revolución en el mundo de las renovables ya que ofrece la posibilidad de que cada usuario produce lo que consume. Los sectores de aplicación con algunos ejemplos son:

- Sector doméstico o residencial
- Electrificación rural.
 - Electrificación de albergues y refugios de montaña
 - Viviendas de uso temporal o permanente
- Sector agrícola
 - Bombeo de agua
 - Control de riego
 - Aplicaciones en invernaderos (automatización de ventanas e iluminación)
- Sector ganadero
 - Electrificación de granjas
- Sector de las telecomunicaciones
 - Telefonía móvil
 - Estaciones de telemetría
 - Radares
 - Repetidores de radio y televisión
 - Postes SOS carretera
- Señalización
 - Señales de tráfico en curvas, obstáculos...
 - Plataformas petrolíferas
 - Farolas y boyas marinas
 - Paso a nivel de ferrocarriles
- Iluminación
 - Alumbrado público como farolas
 - Iluminación de carteles publicitarios
- Control
 - Caudalímetros
 - Toma de datos
 - Accionamiento de válvulas (electroválvulas)
 - Estaciones de medida medioambiental

2.3.2- Sistemas Conectados a la Red

Este tipo de sistemas fotovoltaicos se caracterizan por estar conectados a la red eléctrica. En este caso, cuando el usuario demanda electricidad y su instalación no se la facilita porque está estropeada o no ha acumulado suficiente energía debido a falta de irradiación solar, la red contratada suministrará esa energía directamente. También son sistemas que producen energía eléctrica y la vierten a la red para que sea transportada y consumida.

Componentes sistemas conectados a red

Este sistema estará formado por:

- Módulos Fotovoltaicos
- Inversor
- Baterías con su correspondiente gestor
- Contador bidireccional
- Regulador
- Protecciones del sistema
- Conexión a la red eléctrica

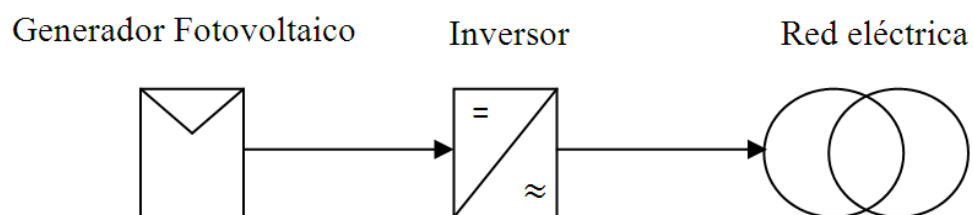


Figura 29. Esquema básico de un sistema conectado a red

Para una vivienda, el esquema de funcionamiento con todos los componentes sería el siguiente:

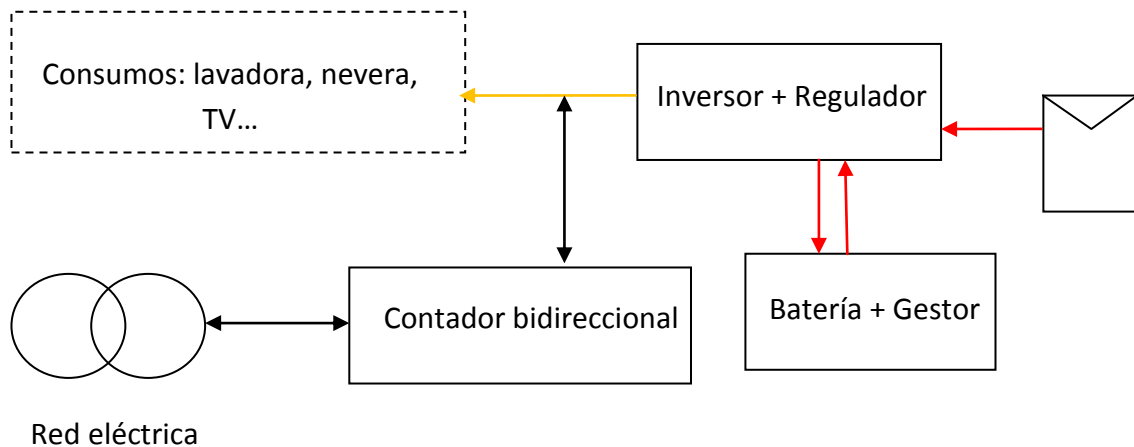


Figura 30. Esquema de funcionamiento sistema conectado a red

Funcionamiento y premisas del sistema a red

El funcionamiento esencial es parecido al comentado para un sistema aislado, debido a que el fin es el mismo. En este caso el aporte de energía externa varía ya que en el aislado se obliga al autoabastecimiento, mientras que en el conectado se permite la recepción de energía por parte de la red.

Los módulos fotovoltaicos captan la radiación solar y la transforman en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico y posteriormente el inversor cambia de CC/AC.

El punto principal de esta instalación se encuentra en el apartado de inyección a la red de la energía producida por los módulos a través de ese **inversor** ya que abastece de energía producida a la red.

Destacar la posibilidad de incluir un contador bidireccional si lo que se desea es inyectar a la red de distribución general la energía excedente de nuestro sistema tras pasar por el regulador de carga. Este contador bidireccional, como su propio nombre indica, hace circular electricidad en las dos direcciones posibles, girando en contra de la dirección normal que conocemos.

De esta manera, si se produce más energía de la que se precisa, no es necesario tener baterías de almacenaje, ya que la electricidad sobrante se vierte a la red general, consiguiendo:

- Un reporte económico que supone no invertir en baterías
- Obtener ganancias aportadas de la compañía eléctrica al suministrar electricidad de nuestro sistema de generación propio.

En el siguiente esquema podemos observar la funcionalidad del contador bidireccional. Las dos direcciones que puede tomar la energía están marcadas por las flechas que señalan ambos sentidos:

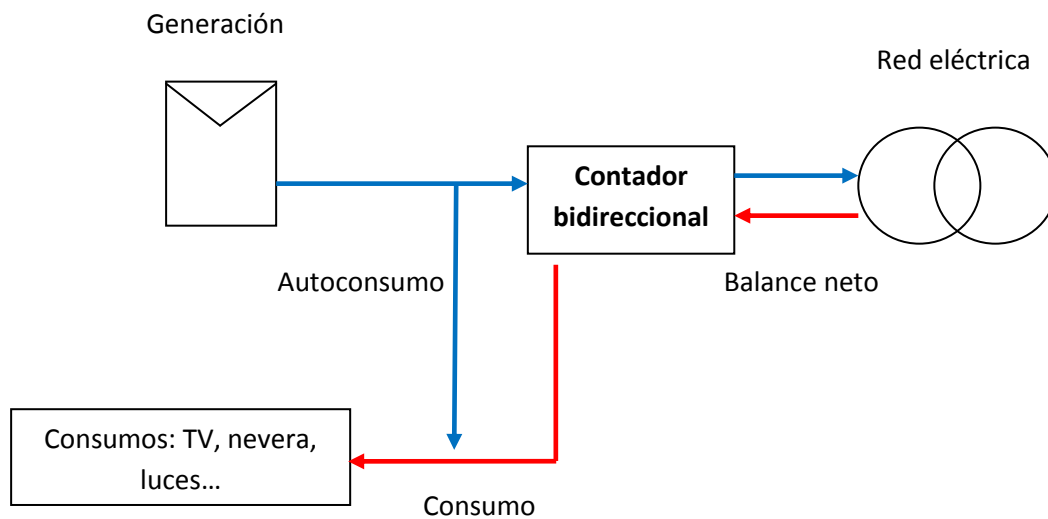


Figura 31. Sistema de autoconsumo con controlador bidireccional

La última tecnología está enfocada al uso de un inversor de tipo híbrido que junta en un mismo equipo el convertidor bidireccional y el banco de baterías. Este es el caso en el que los módulos no proporcionen la energía suficiente para abastecer un complejo durante todo el día y sea necesario su almacenaje.

Pero al estar conectado a la red, gracias al contador bidireccional, también se puede no sólo verter la electricidad excedente, sino valerse de la electricidad que suministra la compañía en el caso de no tener batería suficiente, avería en el sistema de autoconsumo o irradiación deficiente. Estos sistemas son los más utilizados debido al mínimo porcentaje de posibilidad de desabastecimiento.

La instalación también contará de un regulador, que es un dispositivo electrónico que nos permite gestionar la carga del sistema y utilizar la energía almacenada en la batería.

Los protectores del sistema son fundamentales ya que es importante proteger al sistema de:

- Cortocircuitos o sobretensiones que puedan producirse en un momento determinado.
- Puesta a tierra conveniente del circuito y aislamiento.
- Protección contra calentamiento excesivo.
- Protección contra inversión de polaridad si se detecta desde los paneles fotovoltaicos cambios en la polaridad.

Aplicaciones destacadas

Las primeras aplicaciones se centraron en la electrificación de viviendas aisladas o bombeo de agua pero, sin embargo, su máximo desarrollo ha llegado con las instalaciones conectadas a red. La ampliación de potencia que se puede conectar ha hecho que estos sistemas crezcan exponencialmente en su capacidad de fabricación.

El uso más frecuente de estos sistemas se centra en viviendas, generalmente en tejados que permiten su fácil instalación y accesibilidad. Aunque también en espacios no construidos o fachadas para aprovechar toda la superficie disponible. Es el caso de huertos solares o plantas de energía (centrales fotovoltaicas).

Las instalaciones que se pueden acometer se dividen en tres tipos dependiendo de la potencia instalada:

- Tipo I.1: Instalaciones sobre cubierta con Potencia < 20kW.
- Tipo I.2: Instalaciones sobre cubierta con Potencia > 20kW.
- Tipo II: Resto de instalaciones.

En España, tras aprobarse el *Código Técnico de la Edificación*, se ha dado un impulso a la instalación de estos sistemas ya que en la sección *HE-5 del CTE* se obliga a que determinados edificios, como pueden ser naves de almacenamiento, hoteles y hospitales tengan que colocar sistemas fotovoltaicos.

2.4- Sistemas Fotovoltaicos Híbridos

Son sistemas que permiten la combinación de la fotovoltaica con otra fuente de energía. Existen multitud de configuraciones posibles que permiten establecer la que más convenga a cada instalación usando dos o más fuentes de alimentación, aprovechando al máximo el sistema. Su principal premisa se basa en utilizar la energía solar fotovoltaica junto con otras fuentes convencionales como diesel, baterías u otras energías renovables como eólica o aerotermia.

Las ventajas que presentan estos sistemas son múltiples. En concreto se puede destacar:

- Reducción consumo de petróleo
- Reducción del nivel de uso de grupo electrógeno/grupo de generadores
- Funcionamiento más uniforme a lo largo del día
- Aumento del número de horas de servicio y mayor calidad
- No es necesario sobredimensionar notablemente el generador solar para los periodos de baja irradiación, pero es conveniente conocer la potencia requerida y la conexión a la red del sistema que se debe realizar.

De manera genérica se pueden clasificar según:

- Fuente convencional a utilizar
- Potencia a instalar
- Aplicación a la que se destina el sistema
- Demanda energética a lo largo del día o de la semana para que sea lo más sostenible posible analizando el perfil de carga de la demanda.

Tipos de Sistemas Híbridos

En referencia al bus de conexión **(6)**, las configuraciones pueden ser:

- Conexión en CC (DC coupling): se caracteriza por ser común a todos los elementos excepto al de consumo AC que llega a la carga del sistema final. Las tensiones que pueden sostener están en 12, 24 o 48V y su implantación depende de las pérdidas asociadas a la distancia que debe recorrer el bus. Está compuesto por: módulos fotovoltaicos, cargador de baterías y baterías, y dos inversores, uno aislado y otro de consumo.

- Conexión en AC (AC coupling): otro tipo de conexionado que está compuesto por, además del módulo fotovoltaico y de consumo, por inversor de conexión a red e inversor bidireccional. En este apartado el generador fotovoltaico se encargará de abastecer consumo, y en caso de que no pudiera, el inversor bidireccional se encargaría de cargar las baterías para almacenar la energía obtenida.

- Conexión Mixta (CC+AC): surge de la combinación de ambas conexiones, reuniendo las ventajas de de cada una y por lo tanto la más eficiente posible.

En cuanto a las combinaciones posibles, en este trabajo se centrará el estudio de dos tipos de sistemas en concreto:

- Sistemas híbridos fotovoltaicos + diesel + baterías (solución más usada en España)
- Sistemas híbridos fotovoltaicos + aerotermia

2.4.1- Sistemas híbridos, baterías y diesel

Una de las opciones más demandada y utilizada corresponde con combinar generadores diesel y fotovoltaica. En la actualidad, se suele ubicar en:

- Lugares donde ya se dispone de la instalación de un grupo diesel y se desea compaginar con energía renovable buscando ahorro y confort.
- En zonas alejadas a la red eléctrica, donde sería muy costoso el acceso a la distribución general o poco accesible.
- Zonas de riego de alta a media potencia.
- Personas que quieren convertirse en auto-productores de la electricidad que consumen y disponen de la superficie suficiente para instalar el sistema o aprovechar el que ya disponen con otros usos complementarios (casetas).

En muchas ocasiones la hibridación suele ser la solución óptima que permite consumir menos combustible compaginado con una energía renovable o reducir las limitaciones a la hora del abastecimiento.

En cualquier caso, de forma general se puede decir que en los sistemas híbridos el generador diesel suele ser el complemento al sistema renovable y no al revés. Uno de los principales motivos es la dificultad que presenta el renovable de realizar modificaciones de diseño según la marcha, ya que es un sistema bastante rígido.

Por ejemplo, en una región con irradiancia solar constante, donde se produce un valor de potencia determinada, se debería rediseñar todo el sistema de captación fotovoltaica en el caso en que los consumos variasen drásticamente.

En cuanto a su configuración, existen varios tipos de hibridación:

Configuración serie: En estos sistemas se conecta el generador fotovoltaico al convertidor CC/CC hacia el bus de corriente continua, y por otro lado, el grupo diesel se conecta por la parte alterna del rectificador, mientras que la parte de continua del rectificador se conecta al bus CC. Así se consigue cargar las baterías con ambas fuentes (solar+diesel en serie). Por último, el inversor alimenta las cargas a través de su conexión CC por el lado del bus y AC por el lado de la carga.

Las capacidades del generador y el banco de baterías deberán ser capaces de cubrir la demanda pico en cada momento en caso de que el generador fotovoltaico no suministre energía por la radiación solar escasa, y cuando la haya de más, cargar las baterías.

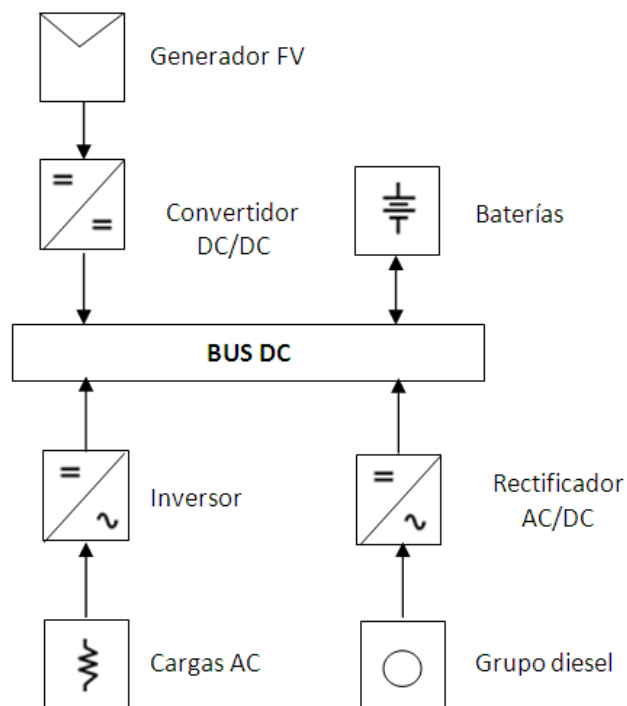


Figura 32. Hibridación FV + diesel Configuración serie.

Configuración conmutada: en este caso la carga puede suministrarse directamente del generador diesel para cargar las baterías o del generador fotovoltaico. El inversor y el grupo diesel no pueden trabajar a la vez, por lo que será necesario dimensionar correctamente la instalación para lograr la potencia requerida en cada momento. Si la potencia de salida del generador diesel es mayor que la necesitada, de nuevo se procederá a la carga de baterías y cuando la demanda sea baja, se apagará el diesel para cargar las baterías con el generador FV para abastecer en demandas futuras. En valores de eficiencia, los conmutados son más eficientes que los diesel.

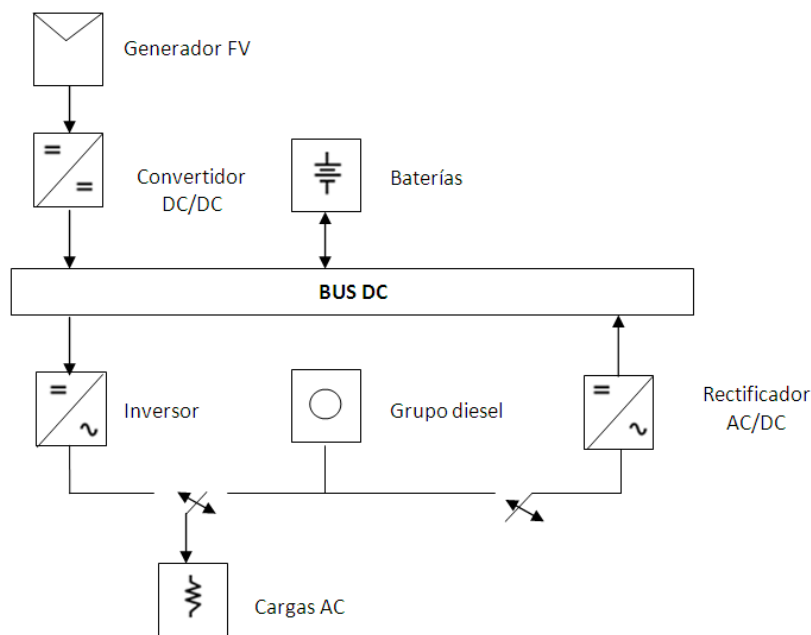


Figura 33. Hibridación diesel + FV. Configuración conmutada.

Configuración paralelo: es la más compleja de las configuraciones posibles. Se dispone de un inversor bidireccional capaz de realizar la función de un inversor y un conmutador en un solo dispositivo. El grupo diesel puede suministrar directamente la energía a la carga. El generador FV y las baterías se conectan en serie a través del convertidos CC/CC unidos por el bus de CC. En caso de conmutación, cuando la demanda de electricidad es baja se cargan las baterías.

Las ventajas respecto a las dos configuraciones anteriores son: en el inversor bidireccional se suma directamente la capacidad del generador diesel con la posibilidad de conexión de las baterías y del generador fotovoltaico, mejorando su comportamiento. Además, la capacidad de sincronización del inversor con el generador diesel permite mayor flexibilidad para la correcta optimización final del sistema.

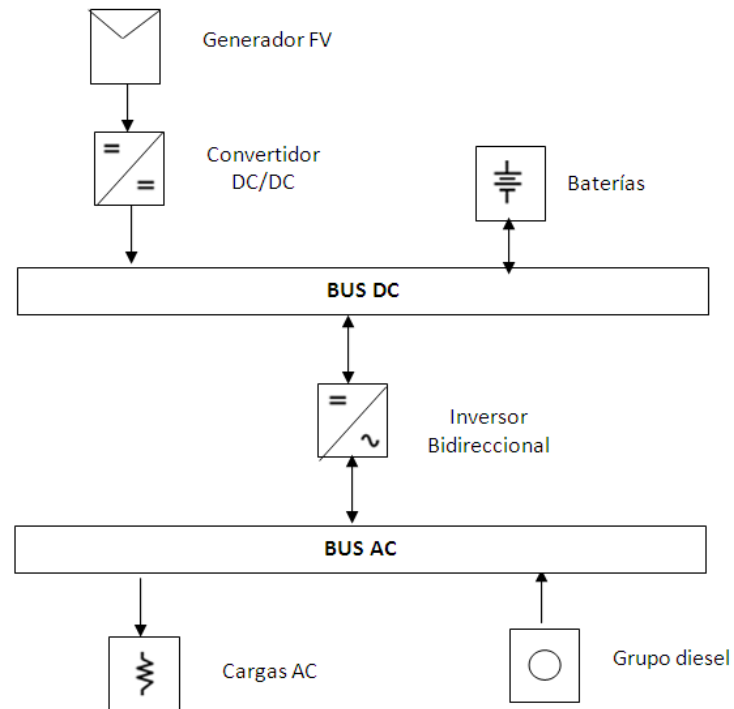


Figura 34. Hibridación diesel + FV. Configuración conmutada.

2.4.2- Sistemas híbridos fotovoltaicos y aerotermia

Cualquier sistema de los destacados en los apartados anteriores se puede expandir añadiendo más fuentes de energía existentes. Un caso particular para estudiar corresponde con la energía aerotérmica.

La aerotermia es un tipo de energía renovable que consiste en aprovechar la energía térmica acumulada en el aire exterior a partir de la renovación de la energía solar recibida por la corteza terrestre.

Las diferentes características que presenta son las siguientes:

- Se puede extraer durante todo el año. Garantizando el correcto funcionamiento continuado.
- Alta eficiencia energética y rendimiento.
- Su principal utilidad es la obtención de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción por radiadores, fancoil o suelo radiante, calentamiento de piscinas.
- Adaptación grande a los sistemas en uso. Tanto en exterior como en interior.

De manera general, para extraer el 100% de energía total para climatizar, necesitamos un 25% de energía eléctrica junto con el 75% de la energía renovable que obtenemos del aire (combinación de ambas).

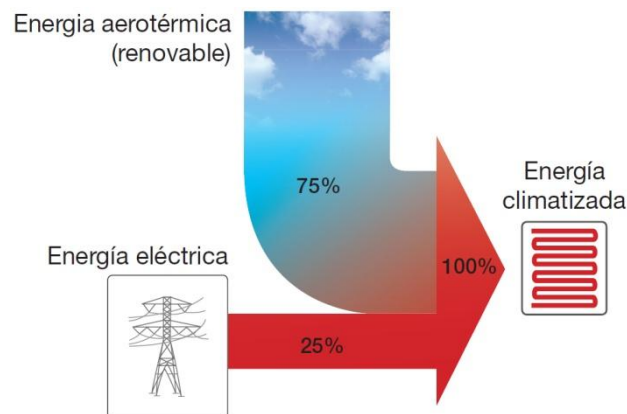


Figura 35. Fundamento energía aerotérmica

El beneficio para el medio ambiente de estos sistemas se centra en la disminución de gases de efecto invernadero, cifrando su reducción en 480 kg/año de CO₂. También se puede destacar el alto ahorro energético de más del 70% con consumos insignificantes entorno a 300 vatios. Datos según Grupo Oceanis, empresa certificada por el Ministerio de Industrial e IDAE.

En conclusión, la aerotermia, al igual que la geotermia, se puede combinar con otras energías mediante hibridación de manera que se pueda dimensionar un sistema completo utilizando varias fuentes. En concreto, la estudiada para este trabajo, aporta una variante de uso con alta calidad y eficiencia contribuyendo al medio ambiente al tratarse de otra energía limpia.

Principio de funcionamiento

El aire contiene calorías durante todas las estaciones de año, incluso en los días más fríos, puesto que es prácticamente imposible que se alcance el cero absoluto (situado exactamente en $-273,15^{\circ}\text{C}$). El principio de funcionamiento se adecúa a su uso como calefacción de una vivienda en la mayoría de los casos y gestión de agua caliente sanitaria (ACS). El sistema está compuesto por dos elementos:

- Unidad exterior encargada de captar calorías.
- Unidad interior dispuesta para traspasar a un circuito de agua esas calorías obtenidas del exterior con el fin de calentar el circuito de calefacción con agua.

El principio de funcionamiento se describe en cuatro etapas, produciéndose dos intercambios de calor en las fases uno y tres:

- 1- El aire exterior entra en el evaporador donde se produce el intercambio de energía por el cual se evapora el líquido refrigerante.
- 2- Ese líquido refrigerante que se ha evaporado se desplaza hacia el compresor comprimiéndose, por lo que aumenta la temperatura.
- 3- Después, el gas comprimido al llegar al condensador vuelve de nuevo a estado líquido. A lo largo del proceso de condensación se produce la cesión de energía del refrigerante al circuito hidráulico, capaz de liberar la energía suficiente para cubrir las necesidades del usuario en cuanto a ACS y calefacción.
- 4- Por último, el fluido refrigerante se desplaza hacia la válvula de expansión capaz de bajar la presión y la temperatura de dicho refrigerante para volver al evaporador y comenzar de nuevo el ciclo (vuelve a la etapa 1).

El fluido refrigerante circula por ambas unidades y suele ser R-134A. En esta conversión la “energía externa” que hay que aportar al sistema es aquella destinada a mover el compresor y el ventilador exterior, pero el resto de energía es la renovable que obtenemos.

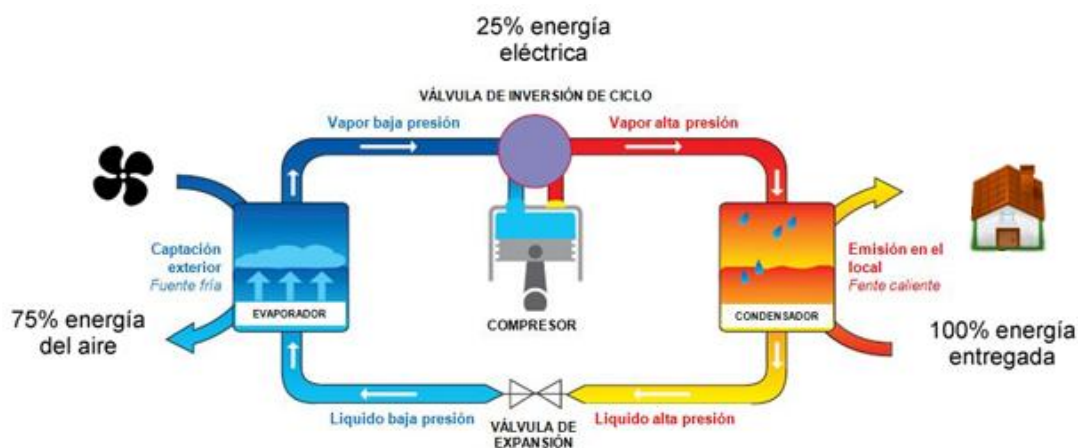


Figura 36. Funcionamiento general aerotermia [7]

Por su funcionamiento, el rendimiento respecto a otras calderas viene indicado por el COP. Como definición, el COP es el coeficiente de rendimiento que expresa la eficiencia de una bomba de calor. Al calcular el COP de una bomba de calor, se compara la salida de calor del condensador (Q) con la potencia suministrada al compresor (W). Su expresión es la siguiente:

$$COP = \frac{|Q|}{W}$$

Si el COP de la bomba de calor es de 2, esto quiere decir que se obtienen 2kW por cada kW de potencia consumida por el compresor. Este valor se expresa en tanto por ciento.

Si comparásemos la eficiencia de la bomba de calor con otras calderas con rendimientos convencionales, donde este valor oscila entre un 65% y un 95%, podemos llegar a la conclusión de la alta eficiencia de la bomba de calor frente a ellos. En la siguiente tabla se muestra:

SISTEMA	RENDIMIENTO
Caldera de gasóleo	Entre 65%-95%
Caldera de gas	Entre 85%-95%
Caldera de biomasa	Entre 80%-95%
Radiadores eléctricos	Entre 95%-98%
Bomba de calor aerotérmica*	Entre 250%-350%

Tabla 1. Rendimiento para los diferentes sistemas

* Para una temperatura de impulsión de 35°C en calefacción

Sistemas actuales en el mercado

Actualmente existe un amplio mercado que crece constantemente comercializando este tipo de sistemas. Su principal premisa es destacar su eficiencia, ahorro en las tarifas, mejora medio ambiental y capacidad de adaptabilidad del nuevo sistema a uno ya existente.

Su funcionamiento está descrito para trabajar incluso en temperaturas de -20°C, donde estos sistemas funcionan perfectamente. Por cada 3/4 kW que necesite la climatización/calefacción sólo es necesario aportar uno de energía eléctrica.

La instalación no tiene ningún riesgo puesto que no se usa ningún tipo de líquido inflamable, además de no requerir mantenimiento regular, únicamente el mínimo estipulado por ley. La instalación tiene un tiempo útil de vida de aproximadamente 20 años, por lo que se garantiza su máximo uso durante ese tiempo.

Incluso se puede utilizar para refrescar las viviendas en verano si se dispone de suelo radiante-refrescante con la misma instalación para poder utilizar la energía durante todos los días del año.

Combinación aerotermia con fotovoltaica:

Como todo sistema, la combinación de tecnologías es muy variada debido a su gran capacidad de adaptabilidad. En concreto, dentro de la inmensa oferta de dispositivos, de la energía total, el 25% de energía eléctrica que necesitamos se obtienen a través del sistema fotovoltaico y el 75% restante lo aporta la unidad de aerotermia.

Por ejemplo, en un caso real para una vivienda unifamiliar, la incorporación de la aerotermia a la instalación de autoconsumo eléctrico fotovoltaico supone un ahorro considerable que viene por dos vías diferentes:

1.- Como se comenta en apartados anteriores, conseguimos con aerotermia por cada 1kWh eléctrico consumido, generar 4 kWh térmicos usando el calor del aire exterior.

2.- El consumo eléctrico total es generado por la instalación fotovoltaica de 8,7 kWh de potencia instalada (<10 kWh ya que se trata de una aplicación doméstica).

3.- Con un COP de 4 a 5.

4.- El método de calefacción es mediante radiadores, bomba de calor y suelo radiante. En verano se puede utilizar la bomba para refrigerar mediante aire frío.

Por otro lado, la instalación se completa mediante la conexión de la máquina de aerotermia con una señal exterior, que aproveche la irradiación solar para abastecer el consumo de la propia máquina. Activándose y manteniendo la temperatura de confort adecuada para el usuario.

Así, con todo ello, conseguimos un ahorro de un 80% respecto al consumo total que se tendría sin ningún tipo de sistema renovable instalado. Alcanzando rendimiento, sostenibilidad, eficiencia energética, flexibilidad y autosuficiencia. Todo ello sin necesidad de otro sistema para enfriar o calentar la vivienda.

Elementos del sistema

Se disponen los siguientes elementos en la instalación para su correcto funcionamiento:

- Módulos solares
- Controlador solar
- Acumulador o depósito de ACS
- Radiadores y/o tuberías suelo radiante
- Unidad interior de aerotermia
- Unidad exterior de entrada y salida de aire

El esquema de todos los componentes que integran el sistema tanto para el agua caliente como para la calefacción es el siguiente:

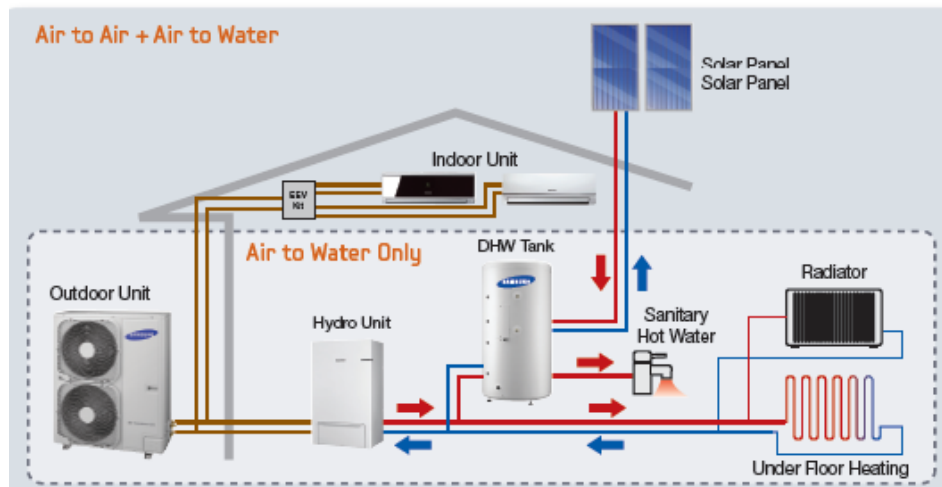


Figura 37. Esquema instalación fotovoltaica y aerotermia [8]

Donde “Hydro Unit” corresponde con la unidad interior, “DHW Tank” con el tanque de almacenamiento de ACS, “Outdoor Unit” con la unidad exterior que recoge el aire fuera de la vivienda, que junto con los paneles solares son los únicos elementos que van en el exterior. El radiador y suelo radiante (que calientan la estancia por el paso de agua caliente por sus tubos) son los que proporcionan el confort interior junto con el agua caliente que saldrá de la grifería.

Las flechas rojas indican la circulación del agua caliente, mientras que las azules la circulación del agua fría.

En una vivienda unifamiliar, la instalación para las diferentes habitaciones correspondería con la siguiente figura:

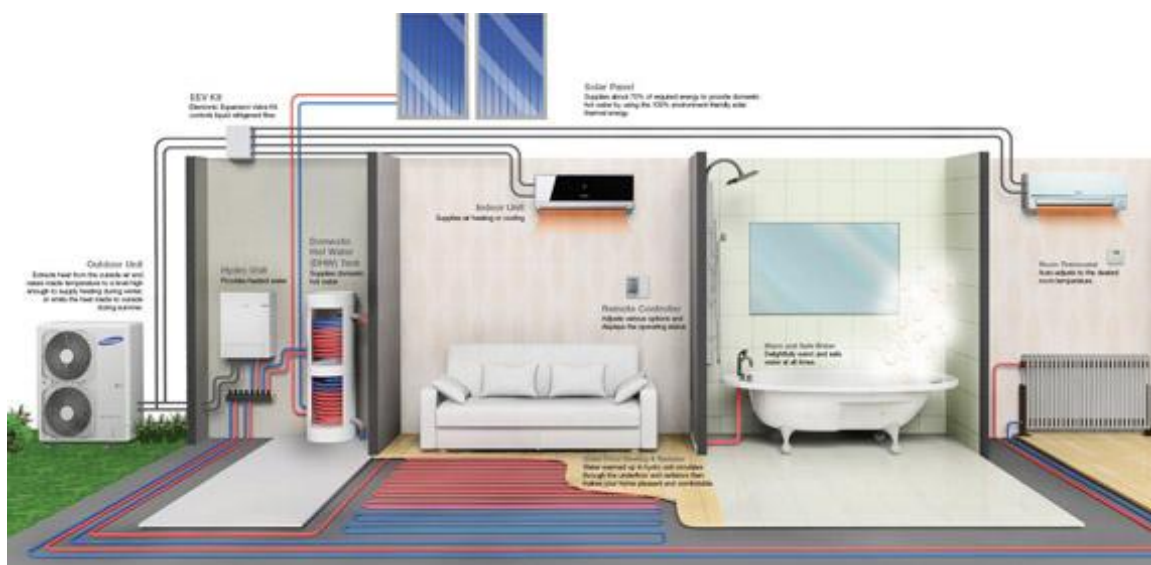


Figura 38. Ejemplo de aplicación en una vivienda unifamiliar de aerotermia + FV [9]

CAPÍTULO 3

Legislación

Un apartado fundamental a la hora de realizar la instalación de un sistema fotovoltaico es el que rige la normativa. En este aspecto hay varios niveles: europeo (a través de Directivas comunitarias), nacional (según Leyes, Reales Decretos, Resoluciones y normas UNE), recomendaciones de la Comisión Europea, Código de buenas prácticas, el Estado actual de la técnica y otros reglamentos asociados a Comunidades Autónomas y Municipales.

Su cumplimiento es imprescindible para el correcto funcionamiento de la instalación conforme a unos estándares que garantizan unos valores mínimos finales, velando por la seguridad y la salud de las personas.

Legislación Unión Europea

Su función principal es la de establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los productos, estableciendo límites o niveles para garantizar la seguridad y salud a través de Directivas.

Por otro lado, aparecen las Normas Armonizadas que no son de debido cumplimiento pero sí aportan condiciones técnicas redactadas por diversos organismos europeos: CEN (Comité Européen de Normalisation), CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) y ETSI (European Telecommunications Standards Institute) que confieren conformidad a los productos.

Por último, los propios fabricantes son libres de disponer sus propias normas para los productos que fabriquen siempre que cumplan con las normas directivas.

Se procede al marcado CE cuando cumplen los niveles mínimos marcados por las normas directivas para que los productos puedan ser puestos en servicio o comercializados.

En este caso, las Directivas asociadas a este trabajo corresponde con:

- Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad.

- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. Establece un marco común para el fomento de la energía procedente de fuentes renovables.
- Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009 por la que se instaure un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.
- Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada
- Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Para reciclaje de los módulos fotovoltaicos entre otros componentes de la instalación.
- Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

Legislación España actualizada comprende la siguiente relación:

Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.

Real Decreto 1955/2000, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RD 842/2002), ver las Instrucciones Complementarias, ITC 40 y la Nota de Interpretación Técnica de la equivalencia de la separación Galvánica de la Conexión de Instalaciones generadoras en Baja Tensión.

Real Decreto 841/2002, de 2 de agosto, por el que se regula para las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial su incentivación en la participación en el mercado de producción.

Real Decreto 1432/2002, de 27 de diciembre, por el que se establece la metodología para la aprobación o modificación de la tarifa eléctrica media o de

referencia (TMR) y se modifican algunos artículos del Real Decreto 2017/1997, de 26 de diciembre, por el que se organiza y regula el procedimiento de liquidación de los costes de transporte, distribución y comercialización a tarifa, de los costes permanentes del sistema y de costes de diversificación y seguridad de abastecimiento.

Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Real Decreto 2351/2004, de 23 de diciembre, por el que se modifica el procedimiento de resolución de restricciones técnicas y otras normas reglamentarias del mercado eléctrico, modifica las primas del anexo VI del Real Decreto 436/2004.

Ley 24/2005, de 18 de noviembre, de reformas para el impulso a la productividad.

Real Decreto 1454/2005, de 2 de diciembre, por el que se modifican determinadas disposiciones relativas al sector eléctrico, modifica el Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, con el objeto de racionalizar el incentivo de las cogeneraciones de más de 50 MW y para detallar aspectos del Real Decreto que faciliten la elaboración de la facturación de la energía adquirida y su admisión en el sistema de liquidaciones de actividades y costes regulados.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Real Decreto-Ley 7/2006, de 23 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el sector energético.

Real Decreto 809/2006, de 30 de junio revisa la tarifa eléctrica a partir del 1 de julio de 2006.

Real Decreto 661/2007, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Orden ITC/1522/2007, de 24 de mayo, por la que se establece la regulación de la garantía del origen de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables y de cogeneración de alta eficiencia.

Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Ley 17/2007, de 4 de julio, por la que se modifica la Ley 54/1997, del Sector Eléctrico, para adaptarla a lo dispuesto en la Directiva 2003/54/CE sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad.

Real Decreto 871/2007, de 29 de junio, por el que se ajustan las tarifas eléctricas a partir del 1 de julio de 2007.

Orden ITC/1857/2008, de 26 de junio, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de julio de 2008.

Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para las instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.

Real Decreto-ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.

Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Real Decreto-ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico.

Real Decreto 647/2011, por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética.

Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción eléctrica de pequeña potencia.

Real Decreto 1544/2011 sobre tarifas de acceso a productores, en régimen ordinario y especial.

Orden IET/3586/2011, de 30 de diciembre, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2012 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial

Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.

Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética.

Legislación

Real Decreto 1718/2012, de 28 de diciembre, por el que se determina el procedimiento para realizar la lectura y facturación de los suministros de energía en baja tensión con potencia contratada no superior a 15 kW.

Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.

Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico.

CAPÍTULO 4

Aplicación a un sistema de autoconsumo doméstico

El objetivo principal de este trabajo, además de estudiar el mercado, los tipos de sistemas fotovoltaicos o las diferentes tipologías y configuraciones posibles de hibridación, se completa analizando y diseñando un sistema autónomo enfocado al ámbito doméstico.

La principal característica en la cual se centra la decisión de elegir el ámbito doméstico es que el consumo en este campo representa el 92,54% del total referido a un consumo de potencia de menos de 10kW y, por lo tanto, la más útil y demandada actualmente en España. En el siguiente gráfico se muestra la distribución:

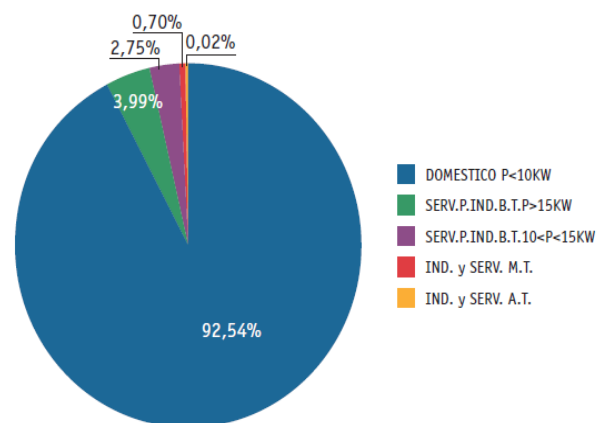


Figura 39. Estructura del consumo de energía eléctrica peninsular Distribución facturación del mercado por tipo de consumidor. Año 2011. Fuente CNE

La premisa fundamental se basa en autoabastecer una vivienda de energía eléctrica usando un sistema de autoconsumo propio, sin necesidad de depender de fuentes externas diferentes a la solar fotovoltaica.

Por otro lado, resulta imprescindible separar los aspectos fundamentales en los que se basará el dimensionado de la instalación, tanto para la correcta elección de los componentes como por la capacidad que éstos tengan que cumplir. Debemos tener en cuenta:

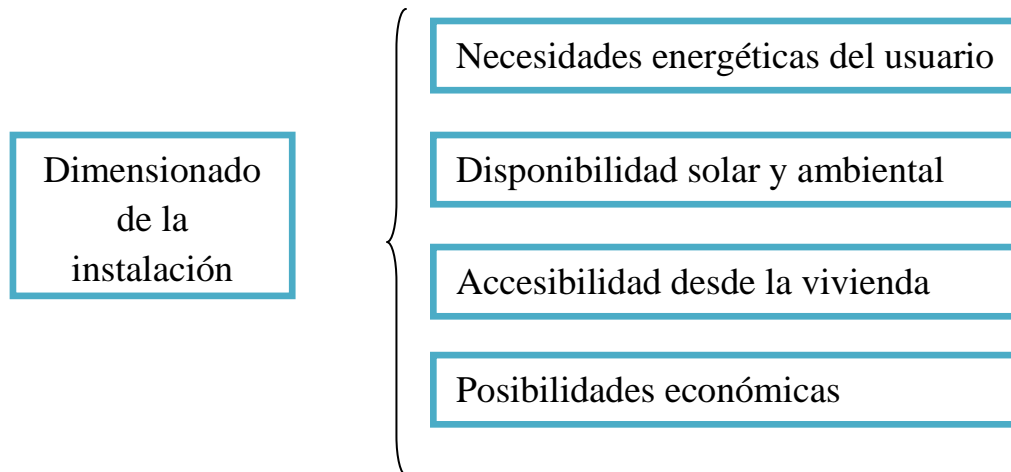


Figura 40. Esquema de dimensionado de la instalación

Elementos sistema FV de autoconsumo

Una vez expuesto en el capítulo 2 el funcionamiento básico de un sistema de autoconsumo fotovoltaico, podemos establecer en este apartado los requisitos que se deben tener en cuenta para cada uno de los componentes que formará la instalación en relación a la función que van a desempeñar.

En concreto, siguiendo el rigor en el diseño según la pauta marcada por el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de la Red (PCT-A-REV - febrero 2009) se asegura la calidad de la instalación, proporcionando beneficio al usuario y al propio desarrollo de la tecnología se obtiene que:

-Baterías: funcionan en ciclos de carga y descarga, siendo capaces de intercambiar la energía que almacenan con los demás elementos de la instalación. Por lo tanto el número de ciclos que es capaz de realizar va ligado al funcionamiento del sistema en relación a la demanda de energía y capacidad de carga nominal de la propia batería.

La capacidad necesaria de las baterías en un sistema FV debe calcularse en función a los consumos y al número de días de autonomía del propio sistema, que como mínimo debe ser de tres días para autoconsumo. Es de gran importancia dimensionar el acumulador en función del generador FV adecuado.

El exceso de capacidad de almacenamiento a la hora del cálculo respecto a la del módulo FV nos indicaría que la batería tendrá problemas para cargarse completamente. Si fuese a la inversa, es decir, baja capacidad de almacenamiento frente a gran capacidad de obtención de energía de los módulos FV, nos indica la posibilidad de falta de suministro de energía si no hay radiación solar.

Para este tipo de instalaciones las más recomendadas son las estacionarias de plomo ácido, con vasos de 2 voltios cada uno, dispuestas en serie y/o paralelo hasta llegar a los 12, 24 o 48 Vcc adecuados en cada caso. La peculiaridad de este tipo de baterías es que pueden permanecer largos periodos de tiempo cargadas y soportar descargas esporádicas.

En concreto, para definir el tamaño necesario de las baterías es necesario tener en cuenta los parámetros:

- *Profundidad de descarga máxima*, que es el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión del regulador, para proteger la duración de la misma. No debe superar el 80% si se prevé que descargas tan profundas no serán frecuentes.
- *Ciclo diario* (profundidad de descarga máxima diaria) están en torno al 15-20%.
- *Ciclo estacional*, número máximo de días que podrá una batería estar descargándose sin recibir los módulos radiación solar suficiente, están alrededor de 4 a 10 días y con una profundidad de descarga del 70% aproximadamente.

Buscando descargas progresivas y no agresivas, que caracterizan a estos sistemas, las baterías utilizadas suelen ser con descarga de 100 horas (C100), aunque debemos tener en cuenta que cuanto más intensa es la descarga de una batería menos energía es capaz de suministrarlos.

-Regulador de carga: permite aprovechar al máximo la energía FV suministrada por los módulos solares, a la vez que cuida el correcto funcionamiento de las baterías en cuanto a carga/descarga e incluso otras funciones con las que se le quiera dotar.

En prácticamente la totalidad de los sistemas de autoconsumo se requiere el uso de un regulador de carga. Su función en esta instalación será la de realizar un proceso óptimo para cargar la batería, evitando carga o descarga excesiva de forma que satisfaga completamente las necesidades de consumo del sistema, maximizando la vida útil de la batería.

Las características principales eléctricas en las que se basa su funcionamiento son la tensión nominal y la corriente máxima en la que pueden trabajar. Su función es controlar durante los periodos de irradiación solar (por el día) se suministre completamente la energía que se necesita por medio del consumo de la vivienda y, a la vez, el resto (si lo hay) se vaya almacenando, mientras que en periodos de irradiación nula (por la noche) las baterías suministren la energía necesaria.

Se debe elegir la forma de controlar el regulador en función de las condiciones climáticas, la aplicación a la que se destine el sistema y el tipo de batería elegido. Se diseña en función de la tensión del sistema y la corriente de cortocircuito I_{sc} del módulo FV al que hay que añadir un 15-20% superior al valor de esa corriente de cortocircuito y con ello asegurarnos la energía los días nublados.

-Generador FV: encargado de transformar la energía procedente del Sol en energía eléctrica.

Como se ha comentado, está compuesto por varios módulos fotovoltaicos que pueden estar conectados en serie o en paralelo y formados por unidades básicas denominadas células fotovoltaicas monocristalinas o policristalinas de diversa naturaleza, por ejemplo silicio Si. De manera general, se consiguen 12-18 voltios para uniones de 36 células y 24-34 voltios para uniones de 72 células. Fijándose siempre en los valores que nos ofrece la curva I vs V del fabricante de módulos, así como en su hoja de características.

Su potencia máxima y la corriente de cortocircuito reales, refiriéndose a condiciones estándar, deberán estar en el margen de $\pm 5\%$ de los valores nominales de las hojas de características.

-Inversor: acondicionan la potencia que se necesita para la instalación. Son necesarios debido a que las cargas que normalmente se disponen en las viviendas son de tipo AC y los generadores solares, como ya conocemos, generan DC.

Para calcular el inversor, se deben sumar la demanda de todas las cargas AC que tendrá el sistema para que posteriormente se elija un inversor cuya potencia sea un 20% superior a la demandada por las cargas.

-Cargas o consumos: los consumos que hay en una vivienda pueden ser de tipo AC o DC y nuestra misión es que el sistema fotovoltaico sea capaz de cubrir la demanda en su totalidad, algo que no es fácil ya que va unido a la demanda del usuario y a sus costumbres. Debemos tener en cuenta que, por ejemplo, en una vivienda, la iluminación o el ordenador portátil consumen DC y necesitan corrientes elevadas, mientras que las cargas en AC necesitan dimensionarse bien ya que producen picos de consumo y necesitamos al inversor para poder transformar la electricidad generada.

Procedimiento de cálculo sistema FV de autoconsumo

Dimensionado:

Los pasos a seguir para dimensionar el sistema fotovoltaico autónomo son los siguientes:

- a) Estimación del consumo. Valores aportados por el usuario de la instalación expresado de la forma más realista posible ya que resulta clave para dimensionar toda la instalación. Como el cálculo se va a realizar según el consumo de una vivienda a lo largo de todo el año, se elige el valor medio del consumo anual.
- b) Datos del lugar donde se emplazará la instalación fotovoltaica para conocer los valores reales de irradiación que son facilitados de forma oficial en internet.
- c) Dimensionado del generador fotovoltaico para establecer el número de módulos necesarios.
- d) Dimensionado del sistema de baterías, conociendo los días seguidos que se va a utilizar la instalación y la autonomía que debemos dotar al sistema.
- e) Dimensionado del regulador.
- f) Dimensionado del inversor.

Método cálculo:

Se realizan los cálculos según el método del mes más desfavorable o del peor mes, así nos aseguramos que la instalación funcione adecuadamente a lo largo del año.

Consumos:

Suponemos una vivienda con un consumo medio anual de 3155 Wh/día, al que hay que establecer un margen de seguridad del 15%. Los valores obtenidos proceden del uso de los siguientes equipos de la vivienda:

Equipo	Potencia (W)	Horas de funcionamiento diario (h)	Potencia Total (Wh)
Luces (DC)	18	5	90
Televisión (AC)	80	2	160
Nevera (AC)	150	10	1500
Lavadora (AC)	350	1.5	525
Calefacción (AC)	110	8	880
Total			3155 Wh/día

Tabla 2. Consumo detallado usuario

Debido a que el rendimiento de todos los componentes no es ideal y se puede producir desgaste, tomaremos de antemano los siguientes rendimientos:

Rendimiento del inversor de un 90%

Rendimiento de la batería de un 95%

Aplicando factores de corrección:

$$L_{md,DC} = (1 + F_S) \cdot E_{DC} = (1 + 0,15) \cdot 90 = 103,5 \text{ Wh/día}$$

$$L_{md,AC} = (1 + F_S) \cdot \frac{E_{AC}}{\eta_{inversor}} = (1 + 0,15) \cdot \frac{3065}{0,9} = 3916,39 \text{ Wh/día}$$

$$E_D = \frac{L_{md,DC} + L_{md,AC}}{\eta_{bateria}} = \frac{4019,89 \text{ Wh/día}}{0,95} = 4231,46 \text{ Wh/día}$$

$L_{md,DC}$: consumo medio diario de corriente continua

$L_{md,AC}$: consumo medio diario de alterna

E_D : consumo medio diario

Como se puede observar el consumo medio diario es superior al consumo medio diario nominal al incluir los factores mencionados. Podemos expresarlo de forma anual de la siguiente manera:

$$E_{\text{eléctrica media anual}} = 4231,46 \text{ Wh/día} \cdot 365 \text{ días} = 1.544.482,9 \text{ Wh/año}$$

Lugar de emplazamiento:

Continuando con el proceso de cálculo nos centramos en la zona donde se va a realizar la implantación del sistema de autoconsumo, en este caso en Madrid. Con localización: 40°25'0" North, 3°42'13" West y altura: 665 m sobre el nivel del mar.

Visitando la página web <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> **PVGIS** de la JRC *European Commission* como herramienta de consulta obtenemos los valores de irradiación para cada mes del año suponiendo un ángulo de irradiación de 30º, 40º, 50º y 60º, con el objetivo de buscar el caso más desfavorable. Se obtiene la siguiente tabla de radiaciones expresados los valores en Wh/m²/día:

Mes	Inclinación 30º	Inclinación 35º	Inclinación 40º	Inclinación 50º	Inclinación 60º
Enero	3410	3570	3700	3900	3990
Febrero	4660	4820	4950	5100	5120
Marzo	5650	5730	5770	5750	5590
Abril	6210	6180	6110	5850	5450
Mayo	6520	6380	6210	5750	5170
Junio	7300	7080	6830	6200	5440
Julio	7710	7500	7250	6610	5820
Agosto	7400	7310	7180	6770	6190
Septiembre	6510	6570	6580	6470	6190
Octubre	4990	5120	5220	5320	5280
Noviembre	3800	3960	4100	4290	4370
Diciembre	3280	3440	3580	3800	3910
Año	5620	5640	5620	5490	5210

Tabla 3. Tabla de radiaciones para cada inclinación y mes de año en Madrid

Nota: el programa establece directamente para Madrid un valor de 35º como ángulo óptimo de inclinación por ese motivo se incluye sus datos en la tabla.

Calculamos la inclinación óptima, aplicando como ya se ha comentado el método del mes crítico a partir de la siguiente tabla que muestra la relación entre:

Cocientes de consumo total diario/radiación [m^2]

Mes	Inclinación 30º	Inclinación 35º	Inclinación 40º	Inclinación 50º	Inclinación 60º
Enero	149,24	142,55	137,54	130,49	127,55
Febrero	109,21	105,58	102,81	99,79	99,40
Marzo	90,07	88,81	88,20	88,51	91,04
Abril	81,95	82,35	83,29	86,99	93,38
Mayo	78,05	79,77	81,95	88,51	98,44
Junio	69,71	71,88	74,51	82,08	93,55
Julio	66,01	67,85	70,19	76,99	87,44
Agosto	68,77	69,62	70,88	75,17	82,21
Septiembre	78,17	77,46	77,34	78,66	82,21
Octubre	101,99	99,40	97,49	95,66	96,38
Noviembre	133,92	128,51	124,12	118,63	116,46
Diciembre	155,16	147,94	142,15	133,92	130,16
Año	90,55	90,23	90,55	92,70	97,68

Tabla 4. Relación entre consumo total diario y radiación

De la tabla obtenemos que el peor mes es diciembre con una inclinación de 30º. Nos indica que en ese mes se producirá la menor irradiación posible para el consumo total estimado, por lo tanto es el punto más crítico del sistema. Al expresarse el cociente con unidades de m^2 nos indica la superficie necesaria para que la energía media diaria procedente de la radiación solar incidente sobre los módulos sea igual a la energía que consumirían los receptores.

Finalmente, el valor elegido en cuanto a la inclinación será de 35º ya que concluiremos que es el más favorable cuando se realiza un análisis de la irradiación media mensual.

Por lo tanto, la representación es la siguiente para 35º, donde se puede observar la distribución de la irradiación solar ($\text{Wh/m}^2/\text{día}$) a lo largo de los doce meses del año para la inclinación crítica en Madrid es:

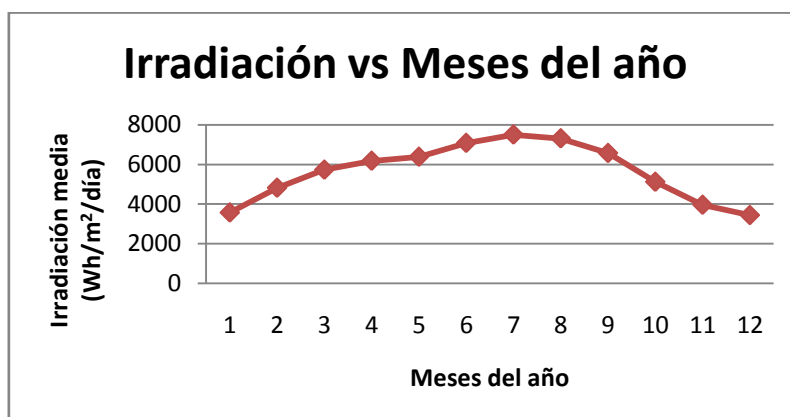


Figura 41. Representación gráfica Irradiación ($\text{Wh/m}^2/\text{día}$) vs meses del año

Cálculo de módulos FV:

Procedemos al cálculo total del número de módulos en función de los valores calculados en el apartado anterior. Elegimos el siguiente módulo fotovoltaico genérico que se puede adecuar a nuestra instalación del fabricante Sunmodule:

Modelo	Tipo de célula	Nº de células por módulo	Dimensiones (mm)	Peso (Kg)	Tolerancia
SW 180 mono	Si-monocristalino	72	1610x810x34	15	±3%

Tabla 5. Características generales módulo fotovoltaico SW 180 mono

Performance under standard test conditions

		SW 180
Maximum power	P_{max}	180 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	44.6 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	36.0 V
Short circuit current	I_{sc}	5.40 A
Maximum power point current	I_{mpp}	5.01 A

Performance at 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 180
Maximum power	P_{max}	128.7 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	40.4 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	32.3 V
Short circuit current	I_{sc}	4.46 A
Maximum power point current	I_{mpp}	3.98 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 95% (+/- 3%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

Figura 42. Características eléctricas módulo fotovoltaico SW 180 mono

En nuestro cálculo, los valores obtenidos son:

Radiación solar disponible: $L_{mdcrít} = 3440 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ correspondiente al valor extraído de la tabla para una inclinación de 35° y en el peor mes de irradiación que corresponde con diciembre.

Consumo medio total de energía diario: $E_D = 4231,46 \text{ Wh/día}$

$HSP_{crítico}$: Hora de sol pico crítico: que son las horas de sol pico del mes más crítico obtenido antes para el mes de diciembre con una inclinación de 30°

$$HSP_{crítico} = \frac{L_{mdcrít}}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{3440 \text{ Wh/m}^2/\text{día}}{1000 \text{ W/m}^2} = 3,440 \text{ HSP}$$

Concluyendo con el número de paneles necesarios:

$$N_{módulos} = \frac{E_D}{P_{MPP} \cdot HSP_{crítico} \cdot PR} = \frac{4231,46 \text{ Wh/día}}{180 \text{ W} \cdot 3,440 \text{ HSP} \cdot 0,9} = 7,5 \approx 8 \text{ módulos}$$

P_{MPP} o P_{Max} : potencia pico del módulo obtenido de las hojas de características, en nuestro caso 180W.

PR : factor global de funcionamiento. Elegimos 0,9 ya que es un valor que oscila entre 0,65 y 0,9.

Necesitaremos 8 módulos de 180 W para cumplir con nuestra instalación.

Cálculo del sistema de acumulación (baterías):

Ahora, para poder dimensionar correctamente las baterías del sistema se establecen los siguientes parámetros:

En un caso doméstico particular se suele realizar el dimensionado teniendo en cuenta de 3 a 5 días. Por lo que elegimos 4 días para el nuestro en concreto.

P_{dmax} : que corresponde con la profundidad máxima de descarga que se puede expresar de forma estacional ($P_{dmax,e}$) o diaria ($P_{dmax,d}$).

- El valor para la profundidad máxima de descarga estacional ($P_{dmax,e}$) en baterías de plomo ácido está entre 0,6 y 0,8 (las más usadas en sistemas aislados), mientras que para las de Ni/Cd este valor es la unidad.

- También se puede expresar la profundidad máxima de descarga de forma diaria ($P_{dmax,d}$), dicho valor nos sirve para comparar entre estacional y diario, eligiendo para el cálculo el valor mayor de los dos parámetros con el fin de cumplir las especificaciones mínimas del sistema y no provocar una insuficiencia diaria o estacional.

-Por ello, los valores de manera general que tomamos son:

$$P_{dmax,e} = 70\% = 0,7$$

$$P_{dmax,d} = 15\% = 0,15$$

-Establecemos como días de autonomía (N): 4 días.

Elegimos entonces el mayor valor que se prevé para el estacional y corresponde con $P_{dmax,e}$. Calculamos la capacidad nominal de las baterías:

La energía que debemos almacenar con los parámetros dispuestos será según la siguiente expresión (añadiendo un factor de corrección del 1,1):

$$\begin{aligned} E_{almacenada}(Wh) &= \frac{1,1 \cdot N(\text{días autonomía}) \cdot E_D \left(\frac{Wh}{\text{día}} \right)}{P_{dmax,e}} \\ &= \frac{1,1 \cdot 4 \cdot 4231,46 \frac{Wh}{\text{día}}}{0,7} = 26597,75Wh \end{aligned}$$

La capacidad por consiguiente será:

$$C_T(Ah) = \frac{E_{almacenada}(Wh)}{V_{batería}} = \frac{26597,75Wh}{24V} = 1108,24Ah$$

Por lo que necesitaremos una batería con capacidad mayor o igual a los 1108,24 Ah calculados, para 100 horas, ya que estamos dimensionando una instalación para 4 días (96 horas \approx 100 horas).

En concreto, dentro del amplio catálogo que dispone la marca OPzS Solar necesitaremos:

Modelo	Capacidad Ah 1,80 V/e 25°C 100Hr	Dimensiones (mm)	Peso (Kg)
OPzS 1990	1411	215 x 277 x 695	86.4

Tabla 6. Características generales batería OPzS 1990

Cuyas características son:

- 1 elemento de 2V para instalaciones fotovoltaicas aisladas
- Tecnología Plomo Ácido. Abierta y tubular
- Capacidades de 1411 Ah a un régimen de 100 horas (C10)

Cálculo del regulador:

Para ello debemos calcular el valor de la corriente máxima que puede soportar el propio regulador a la entrada y a la salida. Con un coeficiente de seguridad de 1,25:

$$\text{Entrada: } I_{\text{regulador}} = 1,25 \cdot I_{SC,mod} \cdot N_{\text{módulos}} = 1,25 \cdot 5,40 \cdot 8 \text{ módulos} = 54A$$

$I_{SC,mod}$: corresponde con el valor de los módulos elegidos, extraído de la hoja de características. En nuestro caso, para el modelo SW 180 $I_{SC,mod} = 5,40 A$

Esta es la corriente máxima que tendrá que soportar la entrada del regulador ya que es la máxima que el módulo fotovoltaico puede generar.

El modelo elegido corresponde con un regulador de carga de 60 A capaz de cubrir los 54 A necesarios. Es el siguiente del fabricante MorningStar:

Modelo	Potencia para 24V (Wp)	Máxima corriente de entrada (A)	Dimensiones (mm)
TS-MPPT-60	1600	60	291 x 130 x 142

Tabla 7. Características generales regulador TS-MPPT-60

Cálculo del inversor:

Por último, dimensionamos el inversor calculando el sumatorio de todas las potencias en alterna. Añadiendo como factor de corrección 1,2 correspondiente al margen del 20% al valor que demandan las cargas. En este caso particular:

Consumo	P(W)
Televisión (AC)	80
Nevera (AC)	150
Lavadora (AC)	350
Calefacción (AC)	110

Tabla 8. Potencias en AC de la vivienda familiar

$$P_{inversor} = 1,25 \cdot \Sigma P_{AC} = 1,20 \cdot (80W + 150W + 350W + 110W) = 828W$$

Pero es importante saber que muchos de los aparatos que se conectan (como los electrodomésticos) tienen unos picos de potencia en el arranque elevados, incluso 5 veces la potencia nominal calculada y es necesario tenerlo en cuenta para el correcto funcionamiento de la instalación.

$$P_{inversor_total} = 1,20 \cdot P_{inversor} = 1,25 \cdot 828W = 993,6W$$

Necesitaremos un inversor de más de 1000W. El inversor elegido es de 1500W del fabricante Clayton para poder proporcionar con solvencia la potencia adecuada calculada:

Modelo	Potencia para 24V _{DC} / 60A _{DC} / 230V _{AC} (W)	Carga (A)	Potencia nominal max. entrada(W)
TS-MPPT-60	1500	60	1600

Tabla 9. Características generales inversor TS-MPPT-60

▪ **Resumen de la instalación:**

Para que nuestra instalación pueda funcionar hasta 4 días autónomamente, necesitaremos 8 módulos fotovoltaicos de 180W de naturaleza monocristalina, con una batería de plomo-ácido de 1411 Ah, un inversor de 1500W y un regulador de carga 60 A.

En el anexo a esta memoria se muestran todas las hojas de características de estos elementos seleccionados de forma detallada.

▪ **Posibles mejoras:**

Las mejoras que pueden acompañar al sistema están relacionadas con las posibilidades de:

- Ampliar la instalación si el consumo que se realiza por parte de los usuarios es mayor. Puede ser debido a muchos factores como pueden ser que amplíen su necesidad de electricidad al aumentar el número de personas que habitan la vivienda o cambiar de dueños.

- Hibridar el sistema dimensionando un generador diesel que compagine su actividad con el rendimiento de la instalación calculada. Siempre es una aconsejable cuando se necesita ampliar la instalación a pequeña escala y sin necesidad de variar el sistema fotovoltaico que necesita un tiempo para su amortización.

- Utilizar hibridación pero con otro tipo de energía renovable como la eólica, la geotermia o aerotermia para multiplicar el beneficio ecológico.

- Comparar más profundamente las costumbres del usuario con la tecnología más adecuada y rentable a lo largo del tiempo. Ejemplo: uso ocasional o diario de la vivienda. Incluso con la posibilidad de conectar a red.

CAPÍTULO 5

Simulación del sistema de autoconsumo doméstico con PVsyst

Para finalizar, se realiza una simulación del sistema de autoconsumo doméstico calculado en el capítulo anterior. De esta forma podemos conocer el comportamiento del sistema a diseñar que más se aproxima a la realidad. El software utilizado es PVsyst versión 6.2.4.

PVsyst:

El software permite un análisis completo de un sistema fotovoltaico mediante el diseño de una instalación que puede ser:

- Conectada a la red
- Aislada
- Bombeo
- Red CC

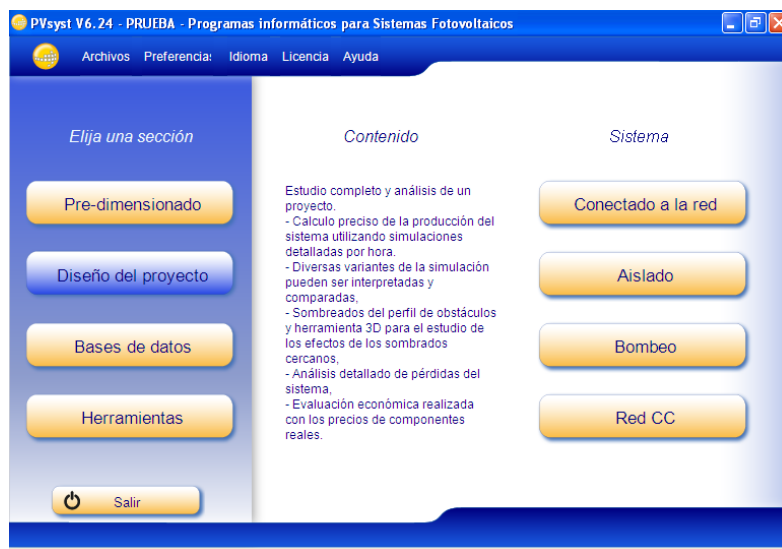


Figura 43. Pantalla inicial PVsyst v6.2.4

El programa permite mediante un estudio y análisis completo. Se puede llevar a cabo las siguientes funciones:

- Cálculo preciso de la producción el sistema utilizando simulaciones.
- Permitir la introducción de numerosas variantes de forma que sus resultados puedan ser comparados y analizados.
- Análisis de pérdidas del sistema

El método de simulación que utiliza el programa se basa en realizar distintos balances energéticos a diferentes horas a lo largo del año para obtener la mejor combinación posible que permita el óptimo aprovechamiento de la energía.

Para lograrlo, cuenta con una amplia base de datos climáticos y de componentes de todos los tipos que se irán seleccionando hasta conformar el sistema óptimo. El resultado lo incorpora la simulación mediante un aporte completo de tablas y gráficas detalladas que hacen posible el análisis del sistema introducido.

En concreto, nos centramos en diseñar un proyecto de un sistema fotovoltaico aislado utilizando los componentes comerciales elegidos a lo largo del capítulo anterior tras su cálculo. Dichos componentes seleccionados, se podrán incluir en el propio programa junto con sus características específicas extraídas de las hojas de catálogo de cada fabricante (añadidas en el anexo), para finalmente realizar la simulación de la instalación real. De todas formas se comprobará que coinciden base de datos del programa con documentación.

Se comenzará desde la pantalla principal accediendo a los diferentes apartados con los que se conformará el diseño del sistema completo:



Figura 44. Pantalla principal programa de diseño

En primer lugar, iniciamos un nuevo proyecto donde realizaremos el dimensionado para una instalación fotovoltaica situada en Madrid con valores óptimos de:

- Inclinação $\beta=35^\circ$, que es la óptima según lo explicado en el capítulo 4.
- Acimut $\alpha=0^\circ$, de forma que capte la mayor cantidad de radiación posible.

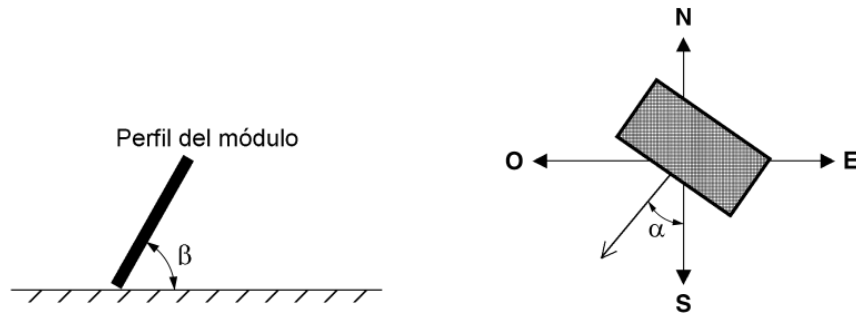


Figura 45. Ángulo de inclinación β y acimut α en los módulos

Trabajaremos con ese perfil de simulación seleccionado, donde introduciremos la base de datos que contiene el propio programa por defecto, estableciendo el lugar geográfico y la estación meteorológica seleccionada para añadirse a la simulación. Los valores que contiene esta base de datos son muy aproximados a los tomados durante el cálculo, por lo que podemos trabajar con ella.

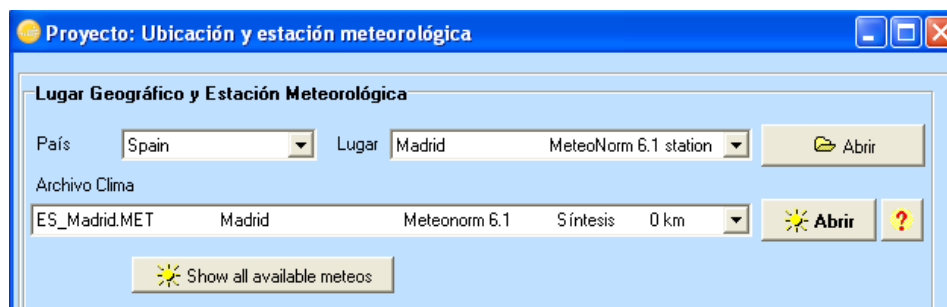


Figura 46. Pantalla de proyecto Ubicación y estación meteorológica

El programa, al introducir la ubicación y estación meteorológica seleccionada, contiene valores mensuales de: irradiancia global ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{mes}$), componente difuso ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{mes}$), temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) y velocidad del viento (m/s), así como su media anual para cada variable dentro del apartado “Climatología Mensual”. Los valores con los que se procederá a la simulación son los mostrados en la siguiente figura:

The screenshot shows the 'Climatología Mensual' window in PVsyst. The location is set to Madrid, Spain, and the data source is 'MeteoNorm 6.1 station'. The window displays a table of monthly and annual data for irradiance, temperature, and wind speed.

	Irrad. Global $\text{kWh/m}^2\cdot\text{mes}$	Difuso $\text{kWh/m}^2\cdot\text{mes}$	Temp. $^{\circ}\text{C}$	VelViento m/s
Enero	66.2	25.9	5.7	3.85
Febrero	77.3	37.6	7.0	4.13
Marzo	141.4	44.0	10.6	4.04
Abril	152.6	66.8	12.7	4.29
Mayo	203.9	72.0	16.4	3.59
Junio	223.2	69.2	23.1	3.75
Julio	229.9	66.3	25.3	3.60
Agosto	200.9	55.9	25.0	3.39
Septiembre	150.5	49.5	20.4	3.54
Octubre	104.9	40.9	14.8	3.61
Noviembre	64.1	30.2	8.6	4.22
Diciembre	49.1	25.1	5.7	4.19
Año	1663.9	583.4	14.6	3.9

Additional options on the right include 'Datos Requeridos' (Irradiación global horizontal, Temp. Exterior Media), 'Datos adicionales' (Irradiación difusa horizontal, Velocidad del viento), and 'Unidades de insolación' (kWh/m².día, kWh/m².mes, MJ/m².día, MJ/m².mes, W/m², Índice de claridad Kt).

Figura 47. Datos que el software guarda para realizar el cálculo

Modificación de las coordenadas geográficas acorde con las del capítulo 4 que habían sido extraídas de la página web de referencia para que coincidan con las del software y se calcule todo desde el mismo punto exacto:

The screenshot shows the 'Lugar del proyecto' window in PVsyst. The location is set to Madrid, Spain, with coordinates 40.42°N, 3.70°E. The window also displays options for importing climate data and a map.

Ubicación

Nombre del lug: Madrid

País: Spain Región: Europa

Coordenadas Geográficas

Latitud: 40.42 [°] 40 25 (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)

Longitud: 3.70 [°] 3 42 (+ = Este, - = Oeste Greenwich)

Altitud: 665 Metros sobre el nivel del mar

Huso horario: 1.0 Corresponde a una diferencia media

Hora Legal - Hora Solar = 0h 45m

Importación Clima

Meteonorm 6.1 NASA-SSE

Importar

Cuadro E/S [Excel]

Figura 48. Ubicación y coordenadas geográficas

Por último se determina el albedo del lugar del proyecto como 0.2 ya que se relaciona con los valores comunes para una zona urbana conforme a la tabla que facilita el programa:

Valores comunes del albedo	
Zona urbana	0.14 - 0.22
Hierba	0.15 - 0.25
Hierba fresca	0.26
Nieve fresca	0.82
Nieve húmeda	0.55 - 0.75
Asfalto seco	0.09 - 0.15
Asfalto húmedo	0.18
Concreto	0.25 - 0.35
Tejas rojas	0.33
Aluminio	0.85
Acero galvanizado reciente	0.35
Acero galvanizado oxidado	0.08

Definir un valor común	
Valor común	0.20
Albedo por defecto = 0.2	
Definir	

Figura 49. Valores albedo proyecto

Introducción de parámetros:

Orientación:

Para que realmente se compruebe que esos datos elegidos son los correctos en cuanto a la orientación del generador fotovoltaico, el programa permite calcularlos para cualquier valor. Seleccionamos como base de estudio la optimización respecto a la productividad de irradiancia media anual, puesto que es la referencia mejor posible que se puede establecer para realizar los cálculos en esta zona:

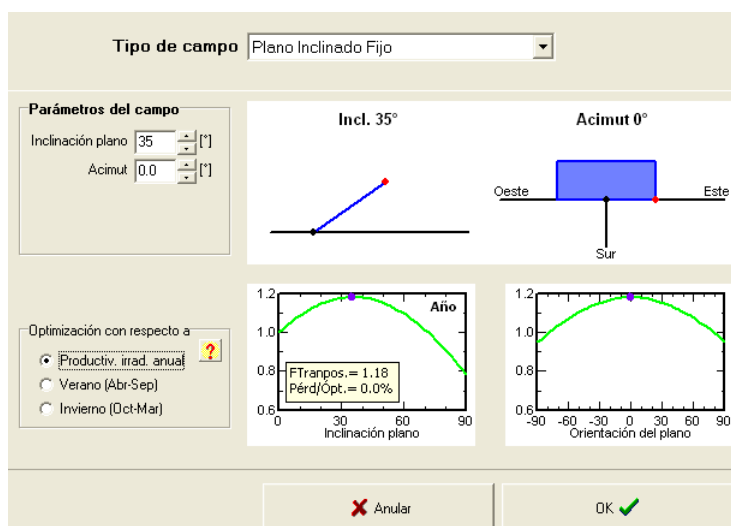


Figura 50. Orientación y optimización para el sistema en concreto a 35°

Por otro lado, en el programa podemos obtener el perfil de obstáculos que representa la trayectoria solar para cada hora del día. En concreto para los valores marcados es el siguiente:

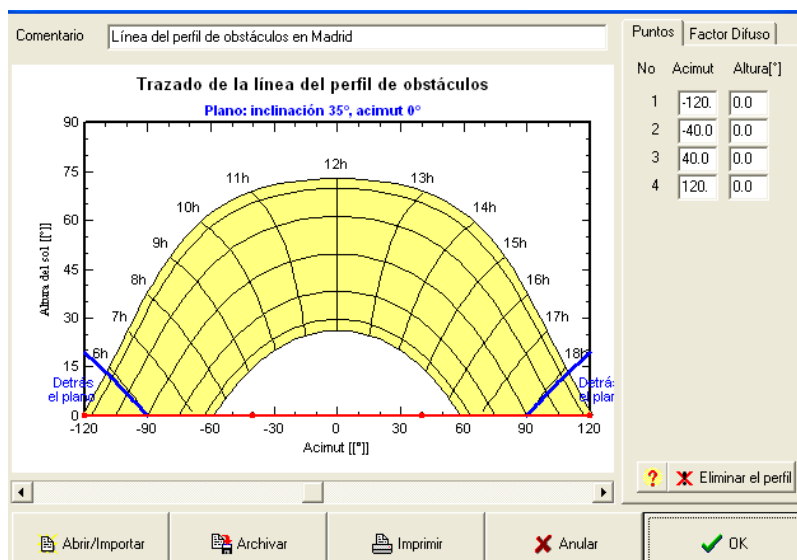


Figura 51. Perfil de obstáculos para una inclinación de 35° y acimut de 0°

Necesidades del usuario:

A continuación, se deben incluir los consumos diarios detallados en el capítulo anterior para la vivienda objeto de estudio según las necesidades de los usuarios. En este caso, el consumo está definido para un año completo, obteniendo un valor de potencia a cubrir de 3155 Wh/día.

NOTA: para conseguir abarcar todos los ajustes realizados en los cálculos del capítulo 4 y conseguir aproximadamente los 4231,46 Wh/día que resultaron, es necesario considerar 852 W de más que constan en el apartado “other uses” del programa y que corresponden a los factores de corrección aplicados. Además de poner el apartado “Calefacción” como “Domestic appliances”. Finalmente cuadra la potencia total en 4232Wh/día.

Al introducir los valores en el programa con ese ajuste para que resulte correcto queda:

Number	Power	Mean Daily use	Daily energy	
1	Fluorescent lamps	18 W/lamp	5.0 h/day	90 Wh
1	TV / Magnetoscope / PC	80 W/app.	2.0 h/day	160 Wh
1	Domestic appliances	110 W/app.	10.0 h/day	1100 Wh
1	Fridge / Deep-freeze	1.50 kWh/day	1500 Wh	
1	Dish-washer, Cloth-washer	0.53 kWh/day	530 Wh	
	Other uses	852 W tot	1.0 h/day	852 Wh
	Stand-by consumers	0 W tot	24h/day	0 Wh
Total daily energy			4232 Wh/day	
Total monthly energy			127.0 kWh/month	

Consumption definition by: ☒ Year ☐ Seasons ☐ Months

Week-end use: ☐ Use only during 7 days in a week

Model:

Figura 52. Consumo diario del usuario de manera detallada, redondeada y con factor de corrección aplicado expresado en Wh/día

Se continúa con la definición del sistema que he propuesto con cada uno de los componentes comerciales seleccionados. Estos componentes se encuentran en la base de datos del programa, por lo que buscando la referencia incorpora directamente sus características dispuestas en las hojas de catálogo de los fabricantes (anexo del trabajo). Aún así se comprueba que sean correctas y que corresponden con las necesidades diseñadas.

Así obtenemos:

Presizing help

Av. daily needs: Enter accepted LOL 5 % Enter requested autonomy 4 day(s)

Battery (user) voltage 24 V Suggested capacity 830 Ah Suggested PV power 1.4 kWp (nom.)

Select battery set

Sort Batteries by: ☒ voltage ☐ capacity ☐ manufacturer

Exide Classic 2V 1411 Ah OPzS Solar 1990

12 Batteries in serie Number of batteries 12 Battery pack voltage 24 V

1 Batteries in parallel Global capacity 1411 Ah

Stored energy 33.9 kWh

Select module(s)

Sort modules by: ☒ power ☐ technology ☐ manufacturer Todos los módulos

SolarWorld 180 Wp 30V Si-mono SW 180 Mono Until 2010 Phot

1 Modules in serie Array voltage at 50°C 31.4 V

8 Modules in parallel Array current 40.3 A

8 Modules Array nom. power (STC) 1.4 kWp

Regulator

Figura 53. Pantalla general de selección de batería y módulos FV

Se tiene en cuenta: probabilidad de pérdidas de carga (LOL): 5%, batería de 24V calculada, días de autonomía (N)=4 días.

Se obtiene lo esperado: 12 baterías en serie y 8 módulos en paralelo.

Todos los elementos que se detallan a continuación son los mismos que los elegidos en el capítulo 4, la introducción de elementos y sus características han sido correctas conforme al dimensionado:

- Batería:

La batería seleccionada es la siguiente (como aparece en la simulación):

General Data	
Model	OPzS Solar 1990
Manufacturer	Exide Classic
File name	Exide_OPzS_Solar_1990.8TR
Source	Datasheet 2011
Technology	Pb-ácido, abierta, tubular

Basic parameters	
Number of Elements	1
Nominal Voltage	2.0 V
Nominal Capacity (C10)	1411 Ah
Internal Resistance	0.23 mOhm
Coulombic Efficiency	97.0 %

Sizes	
Width	215 mm
Depth	277 mm
Height	695 mm
Weight	86.4 kg
Specific capacity	33 Wh/kg
Specific capacity or weight	31 kg/kWh

Values:
☐ Per cell
☒ Whole battery

Figura 54. Referencias generales batería

Y la representación gráfica de las curvas de carga (horas) vs tensión (V) en función de la corriente:

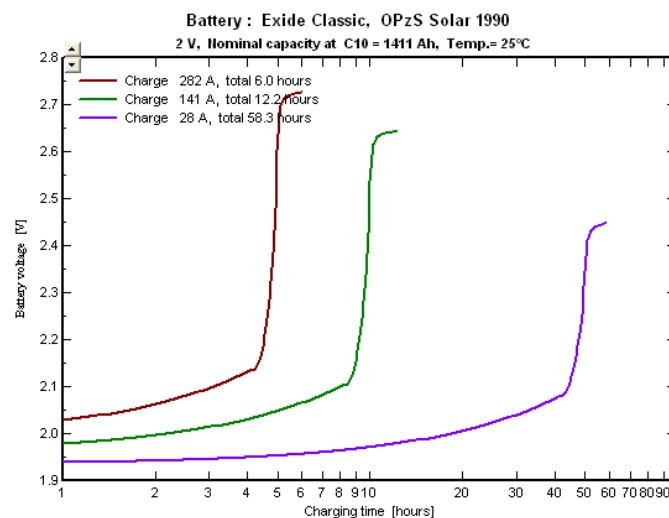


Figura 55. Representación gráfica carga (horas) vs Tensión de la batería (V)

○ Módulo FV:

El generador fotovoltaico atiende a las siguientes características que muestra PVsyst y que corresponden con las marcadas en la hoja de características tras su comprobación:

Datos básicos | Datos adicionales | Parámetros modelo | Dimensiones y Tecnología | Comercial | Gráficos

Modelo: SW 180 Mono Fabricante: SolarWorld

N. archivo: SolarWorld_SW180M.PAN Origen datos: Photon Mag. 2007

Potencia nominal: 180.0 Wp Tol. +/-: -3.0 / 3.0 % Tecnología: Si-mono

Especificaciones del fabricante o otras medidas

Cond. de referencia:	GRef	1000	W/m²	TRef	25	°C
Corriente de cortocircuito	Isc	5.400	A	Circuito abierto Voc	44.60	V
Punto Potencia Máximo:	Imp	5.000	A	Vmp	36.00	V
Coeficiente de temperatura	milsc	3.2	mA/°C	N° células: 72 en serie		
	o milsc	0.060	%/°C			

Resumen del modelo

Parámetro principal

R paral. 450 ohm
Rp (G=0) 1800 ohm

R serie modelo 0.57 ohm
R serie máx. 0.81 ohm
R serie aparente 0.96 ohm

Parámetros modelo

Gamma 1.11
Io Ref 2 nA
muVoc -177 mV/°C
miPmáx fijado -0.47 /°C

Resultado del modelo interno

Cond. de funcionamiento	GOper	1000	W/m²	TOper	25	°C
Punto Potencia Máximo:	Pmpp	180.0	W	Coef. temperatura	-0.47	%/°C
	Corriente Imp	5.02	A	Tensión Vmpp	35.8	V
	Corriente de cortocircuito Isc	5.40	A	Circuito abierto Voc	44.6	V
Eficiencia	/ Sup. células	N/A	%	/ Sup. módulo	13.80	%

Figura 56. Características principales hoja de catálogo módulo PW180 mono

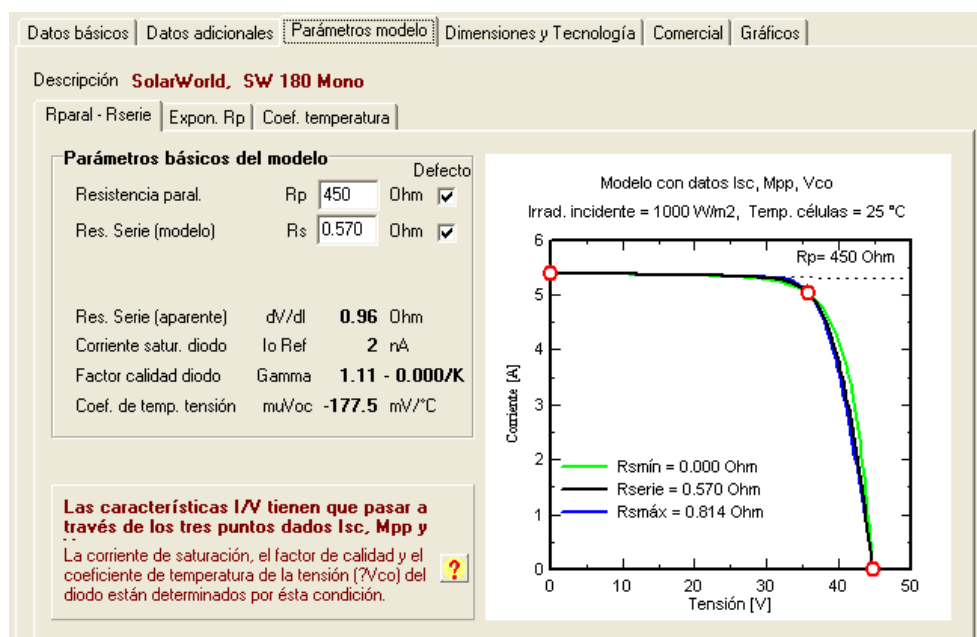


Figura 57. Parámetros modelo módulo PW180 mono

Como se anunció en el capítulo 2, en relación a las características fundamentales de los generadores fotovoltaicos, en las curvas P-I y V-I, se puede ver su funcionamiento:

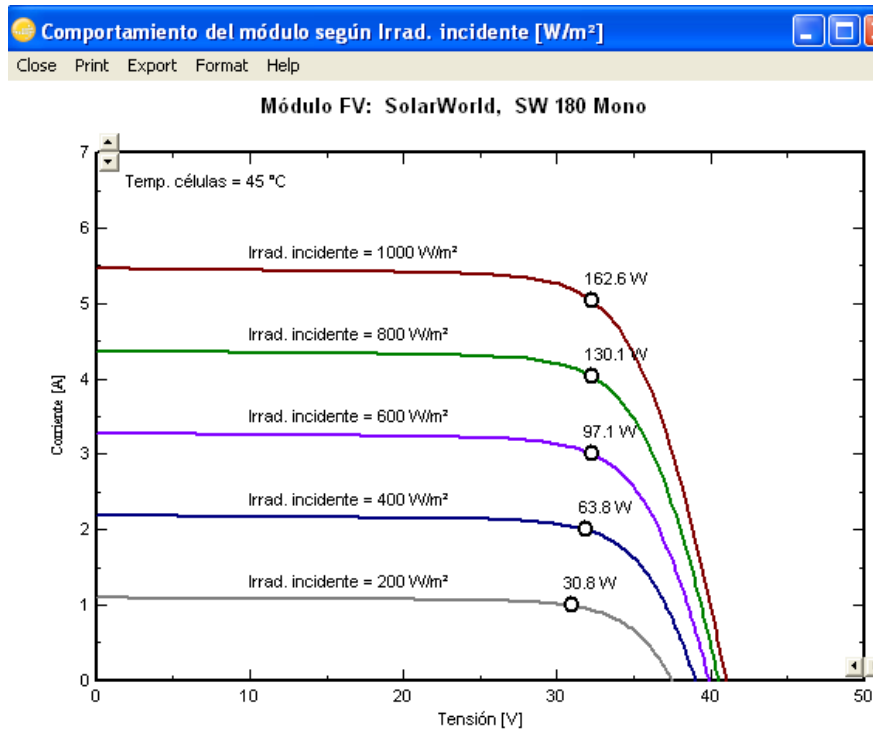


Figura 58. Gráfico módulo fotovoltaico I-V

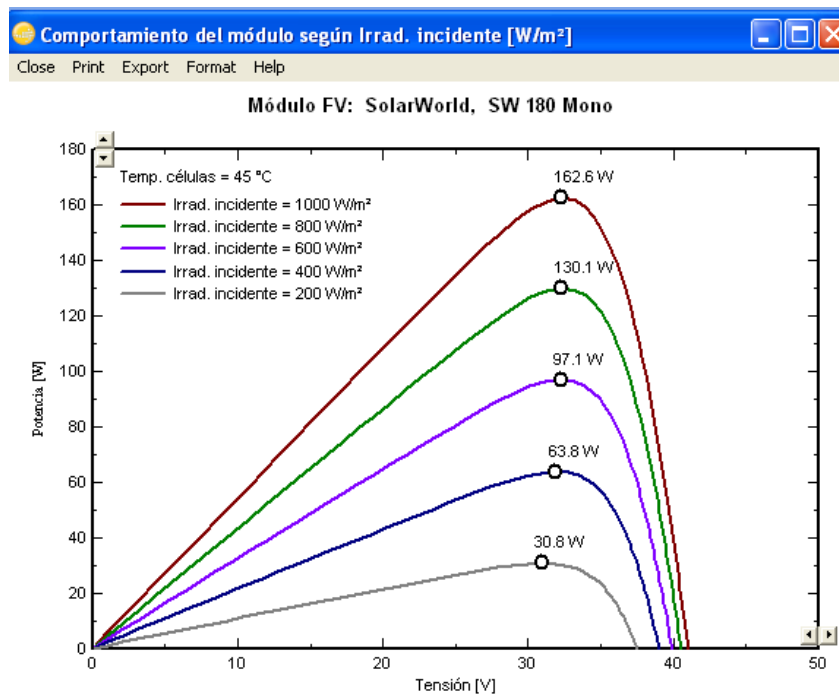


Figura 59. Gráfico módulo fotovoltaico P-V

○ Regulador de carga:

Figura 60. Características regulador Tristar-60 12/24V

Se comprueba que todo es correcto y se obtiene finalmente un sistema preparado para simulación total:

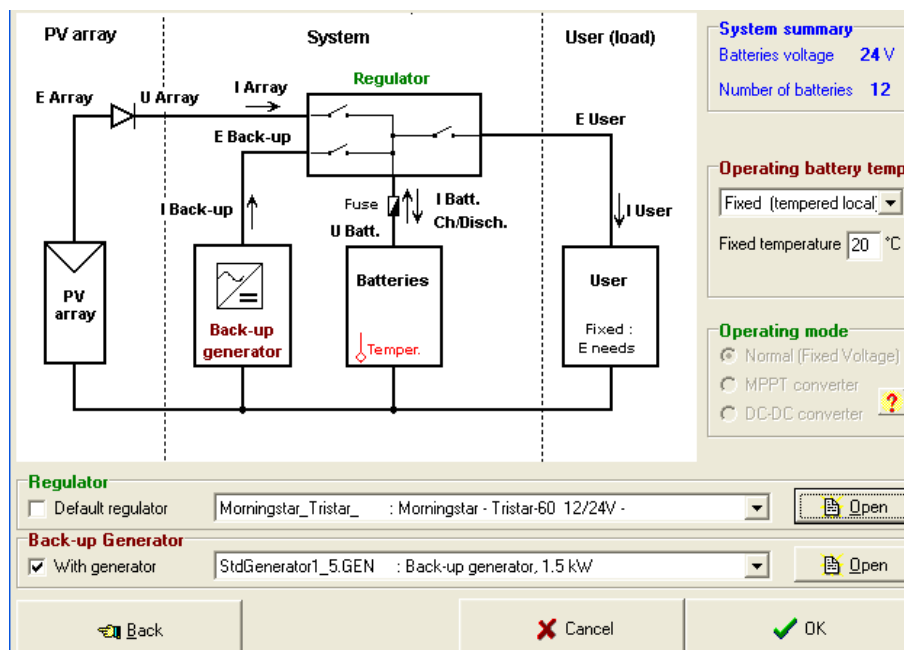


Figura 61. Esquema sistema completo

Simulación del sistema completo

Tras el dimensionado completo, se procede a la simulación, donde PVsyst aporta los resultados más destacados obteniéndose la siguiente pantalla de resultados:

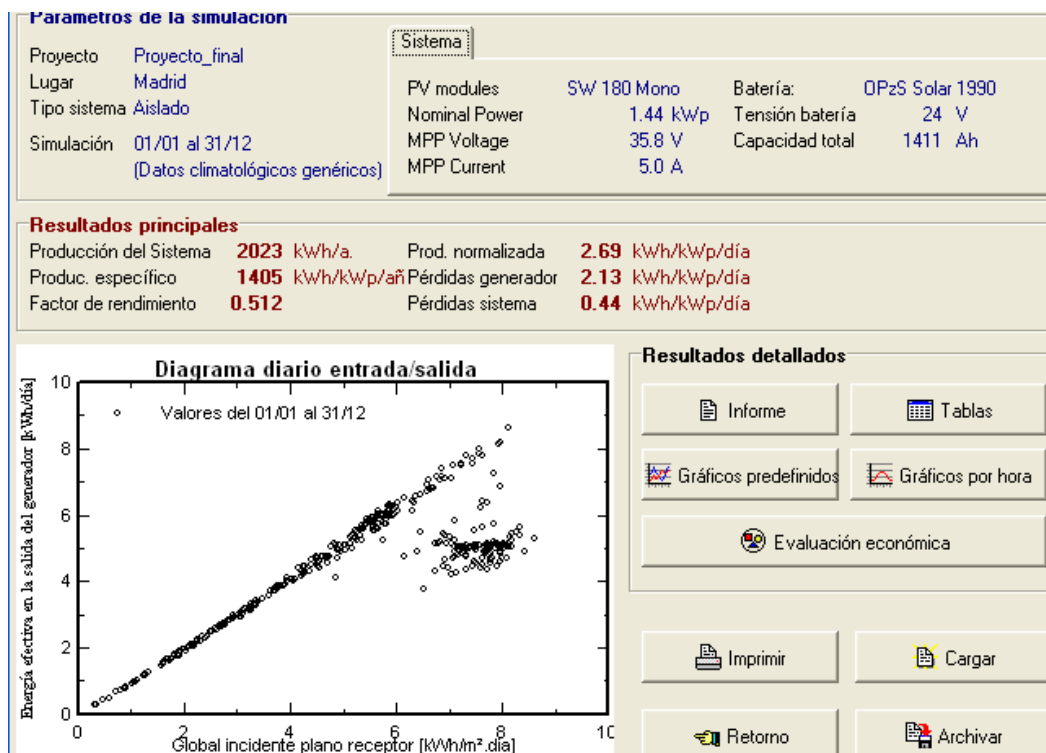


Figura 62 Pantalla de resultados de la simulación

- Producción Anual del sistema: 2023 kWh/año
- Factor de rendimiento: 0,512
- Producción normalizada: 2,69 kWh/kWp/día
- Pérdidas del generador: 2.13 kWh /kWp/día
- Pérdidas del sistema: 0,44 kWh /kWp/día

El rendimiento obtenido tiene ese valor porque en la propia simulación los componentes no son ideales y producen pérdidas en el funcionamiento. La gráfica que podemos destacar es la siguiente:

- Producciones normalizadas y factores de pérdida:

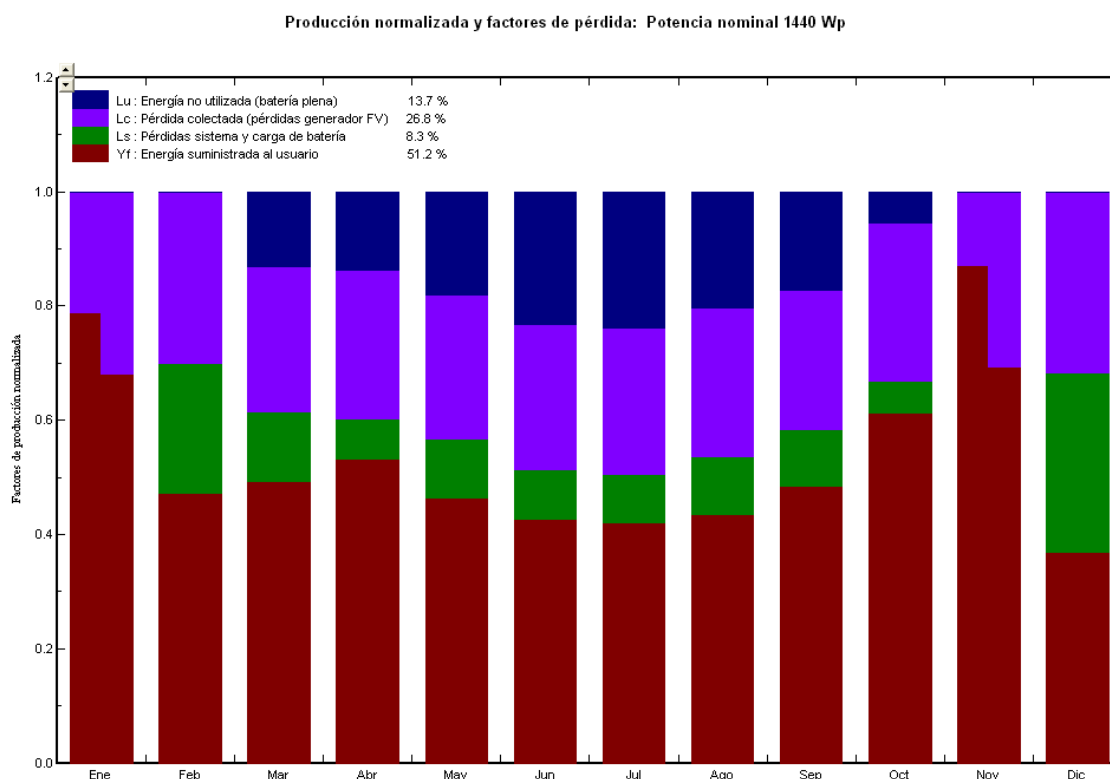


Figura 63. Producción normalizada y factores de pérdida diseño

En ella podemos observar las pérdidas producidas por el generador fotovoltaico que son un 26,8%, las pérdidas del sistema y la carga de baterías 8,3% y la energía suministrada al usuario que corresponde con un 51,2%.

Hay que tener en cuenta que al asumir un sistema con meses de consumo crítico que abarca el periodo de noviembre a febrero restringe mucho el diseño y produce que en los meses con mayor irradiación no se pueda acumular toda la energía disponible y no utilizada. Una posible variación sería disponer de baterías suplementarias que la almacenaran, para ello se debe variar el número de días de independencia por ejemplo para que el rendimiento aumentara.

El informe del sistema simulado es el siguiente:

PVSYST V6.24					19/06/14	Página 1/4
Sistema Aislado: Parámetros de la simulación						
Proyecto :		Proyecto_final				
Lugar geográfico		Madrid		País	España	
Ubicación		Latitud	40.4°N	Longitud	3.7°E	
Hora definido como		Hora Legal	Huso hor. UT+1	Altitud	665 m	
		Albedo	0.20			
Datos climatológicos:		Madrid		Síntesis - Meteonorm 6.1		
Variante de simulación :		mi_simulacion				
		Fecha de simulación	19/06/14 14h00			
Parámetros de la simulación						
Orientación Plano Receptor		Inclinación	35°	Acimut	0°	
Modelos empleados		Transposición	Perez	Difuso	Erbs, Meteonorm	
Características generador FV						
Módulo FV		Si-mono	Modelo	SW 180 Mono		
			Fabricante	SolarWorld		
Número de módulos FV			En serie	1 módulos	En paralelo	8 cadenas
Nº total de módulos FV			Nº módulos	8	Pnom unitaria	180 Wp
Potencia global generador			Nominal (STC)	1440 Wp	En cond. funciona.	1266 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)			V mpp	31 V	I mpp	40 A
Superficie total			Superficie módulos	10.4 m²		
Factores de pérdida Generador FV						
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s	
Pérdida Óhmica en el Cableado		Res. global generador	13 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC	
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de Pérdidas	1.5 %	
Pérdidas Mismatch Módulos				Fracción de Pérdidas	2.5 % (tensión fija)	
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo	0.05	
Parámetro del Sistema		Tipo de sistema		Sistema Aislado con generador auxiliar		
Batería		Modelo		OPzS Solar 1990		
		Fabricante		Exide Classic		
Características del banco de baterías		Tensión	24 V	Capacidad Nominal	1411 Ah	
		Nº de unidades	12 en serie			
		Temperatura	Fijo (20°C)			
Regulador		Modelo		Tristar-60 12/24V		
		Fabricante		Morningstar		
		Tecnología		uP, Series transistor		
Convertidor		Eficiencias Máx. y EURO	97.0/95.0 %	Coef. temp.	-5.0 mV/°C/elem.	
Umbral de Regulación Baterías		Carga	28.3/25.2 V	Descarga	22.8/25.2 V	
		Comando de Generador Auxiliar	22.2/25.8 V			
Generador auxiliar		Modelo		1.5 kW		
		Fabricante		Back-up generator		
		Potencia		2 kW		
Necesidades de los usuarios		Cons. domésticos diarios		Constante durante el año		
		media		4.2 kWh/Día		

Figura 64. Informe con resultados generales PVsyst

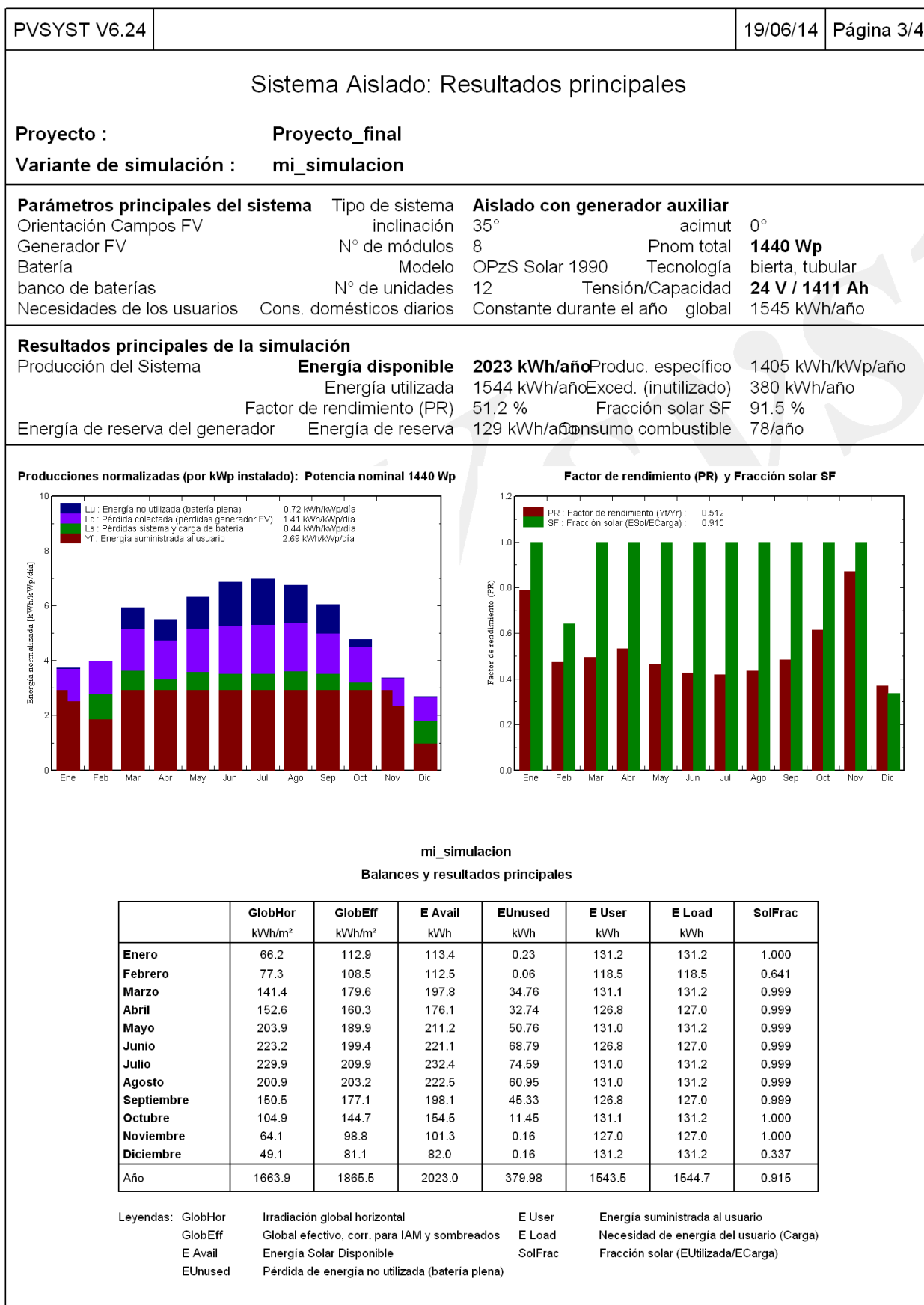


Figura 65. Informe con resultados generales PVsyst

Por último destacar las posibles pérdidas que bajan el rendimiento de la instalación pueden ser debidas a:

- Pérdidas por temperatura
- Pérdidas óhmicas del cableado
- Pérdidas por suciedad en los módulos
- Pérdidas por la orientación e inclinación
- Rendimientos de los componentes
- Carga/descarga de la batería
- Otros

En el informe recibido tras la simulación, se presenta la siguiente figura respecto al “Diagrama de pérdidas durante el año”:

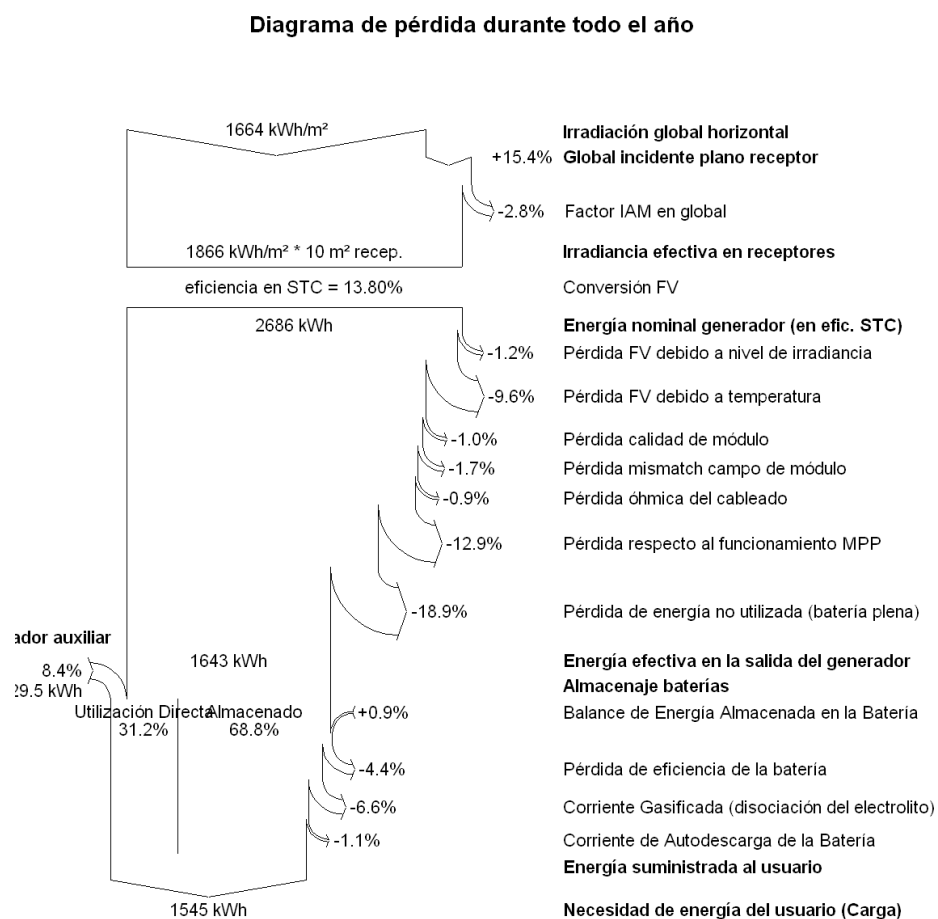


Figura 66. Diagrama de pérdidas durante el año

CAPITULO 6

Conclusiones

La protección del medio ambiente debe ser uno de los objetivos principales para la humanidad. En los últimos años la degradación sufrida en el entorno obliga a llevar a cabo una nueva conciencia social para frenar lo antes posible las prácticas contaminantes e impulsar la utilización de nuevos tipos de generación de energía que nos ofrece la propia naturaleza. Las energías renovables.

En este trabajo, centrándonos en los sistemas fotovoltaicos, descubrimos múltiples posibilidades de incorporar sistemas diseñados para mejorar la calidad del medio ambiente y a su vez obtener la energía necesaria que un usuario puede demandar a lo largo de la jornada. Desde sistemas aislados hasta conexiones a red, con múltiples variantes posibles o la capacidad que disponen para compaginar con generadores diesel u otras renovables como la aerotermia.

A la hora de diseñar una instalación de autoconsumo, teniendo en cuenta las premisas iniciales dadas por el usuario, las limitaciones que pueden tener los componentes de los que dispone el mercado o los datos climáticos del propio lugar donde se emplazará, se consigue un resultado muy completo para una instalación de alrededor de 4kW de consumo diario.

Por último, la posibilidad de simular la instalación con el programa PVsyst permite comprobar la multitud de opciones antes de ejecutar la instalación, con la elección de componentes reales en el amplio catálogo que dispone su base de datos. Finalmente se obtiene un diseño muy completo con resultados precisos y fiables que van a la par con los cálculos realizados en el dimensionado previo.

CAPITULO 7

Bibliografía

MUÑOZ Cano, J. Recomendaciones sobre el uso de corriente alterna en la electrificación rural fotovoltaica. Lorenzo Pigueiras, E. Tesis doctoral, UPM, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, 2004.

ALONSO Abella, M.A. Sistemas Fotovoltáicos. Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica. Madrid: SAPT, 2005. 312p. ISBN: 84-86913-12-8.

SALAS Merino, V. Legislación y Normativa de los Sistemas Fotovoltáicos de Conexión a Red. Madrid: VISION NET, 2008. 126p. ISBN 9788498696707

IDAE. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. En: Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (PANER) 2011-2020 [en línea]. Madrid, junio 2010 [Consulta: 30 marzo 2014].
Disponible en:
http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630_PANER_Espanaversion_final.pdf

ALAMINOS, F.J. Evolución del concepto de Medio Ambiente a lo largo de la Historia. En: El Medio Ambiente en Andalucía en el umbral del siglo XXI [en línea]. Consejería de Medio Ambiente 2001 [consulta: 10-06-2014].
Disponible en:
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Documentos_Tecnicos/Umbrales_XXI/pdfs/ma_andalucia_1_1.pdf

Renewables Academy AG. RENAC México. En: Energía Solar Fotovoltáica como fuente de energía renovable global [en línea]. [Consulta: 20-3-2014].
Disponible en:
http://www.renacmexico.com/fileadmin/user_upload/Download/RENAC_Mexico/Introduccion_fotovoltáica.pdf

Bibliografía

Fundamentos de los sistemas fotovoltaicos [consulta 1-5-2014].

Disponible en: <http://www.electricidad-gratuita.com/fundamentos-fotovoltaicos.html>

Energía fotovoltaica [consulta 1-5-2014].

Disponible en: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html

Energía solar España [consulta 5-4-2014].

Disponible en: <http://www.energiasolaresp.com/2011/05/mercado-fotovoltaico-espanol-situacion.html>

Energía solar fotovoltaica [consulta 5-4-2014].

Disponible en: http://www.vidasostenible.org/observatorio/f2_final.asp?idinforme=361

Atersa. Grupo Elecnor. Aplicaciones [consulta 19-4-2014].

Disponible en: <http://www.atersa.com/quienes.asp?param=21>

Autoconsumo Fotovoltáica [consulta 19-4-2014]. Disponible en:

<http://www.autoconsumofotovoltaica.com/autoconsumo-fotovoltaica-y-aerotermitia/>

Módulos fotovoltaicos [consulta 1-5-2014]. Disponible en:

http://oretano.ieleab.uclm.es/~arodenas/Solar4/Solar_Fotovoltaica/componentes.htm

Célula fotovoltaica [consulta 5-6-2014].

Disponible en: http://www.enerpoint.es/photovoltaic_technology_2.php;

<http://www.teknosolar.com/blog/caracteristicas-electricas/>

Tecnología de fabricación de la célula solar [consulta 10-6-2014].

Disponible en:

http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm

Estructura módulos fotovoltaicos [consulta 25-5-2014].

Disponible en:

http://opexenergy.com/fotovoltaica/componentes_fotovoltaicos.html#3._PROTECCIONES.

Aerotermitia. COP [consulta 20-5-2014].

Disponible en: http://cbs.grundfos.com/BGE_Spain/lexica/AC_COP.html

Bibliografía

Aeroterminia [consulta 20-5-2014].

Disponible en: <http://www.solargal.com/servicios/aeroterminia-1537s.html>
<http://www.grupomaraver.com/www.grupomaraver.com/aeroterminia.pdf>
<http://www.energiaseficaz.es/aeroterminia/>

Directiva energía renovable IDAE [consulta 18-4-2014]. Disponible en:

<http://www.idae.es/index.php/relcategoria.1037/id.681/relmenu.322/mod.pags/mem.detalle>

Directivas europeas [consulta 18-4-2014]. Disponible en:

http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament/es/displayFtu.html?ftul=FTU_5.7.4.html
<http://www.f2e.es/es/normativa-europea-de-eficiencia-energetica>

UNEF. Unión Española Fotovoltaica [consulta 18-4-2014].

Disponible en: <http://unef.es/legislacion-fotovoltaica/>

Uc3m. Legislación fotovoltaica [consulta 18-4-2014].

Disponible en:

http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/grupos_investigacion/gsep/auditorias_fotovoltaicas/Legislaci%F3n_fotovoltaica

Sistemas fotovoltaicos autónomos diseño [consulta 25-5-2014]. Disponible en:

<http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>
<http://www.autoconsumamos.com/dimensionado-instalacion-fotovoltaica-aislada-metodo-del-mes-mas-desfavorable/>

Páginas web:

Solarweb: <http://www.solarweb.com>

Suelosolar: <http://www.suelosolar.es>

Cubierta solar: <http://www.cubiertasolar.es>

Dforce Solar: <http://www.dforcesolar.com>

Greenheiss: <http://www.greenheiss.com>

REFERENCIAS:

1. APPA info [en línea]: Apagón Renovable. Marzo 2013, no. 34 [Consulta 25 febrero 2014]. Disponible en: <http://www.appa.es/descargas/Appainfo34-web.pdf>. ISSN: 1578-8806.
2. ORTEGA Carcelén, Martín. Real Instituto Elcano. Geoestrategia del petróleo: un factor de riesgo. 15 de noviembre de 2013 [consulta 19-04-2014]. Disponible en: http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/programas/energiacambioclimatico/publicaciones/dt15-2013-ortega-geoestrategia-petroleo-factor-riesgo#_ftn3
3. LÓPEZ-CÓZAR, J. M. (Octubre 2006) Energía Solar Térmica. En: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio [en línea]. Manuales de Energía Renovables no. 4 [Consulta 25 febrero 2014]. Disponible en: http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Energia_Solar_Termica.pdf
4. Comisión Nacional de Energía. Memoria de actividades 2012 [en línea]. [Consulta: 19 de abril de 2014]. Disponible en: http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/Memoria_2012.pdf
5. Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Comunidad de Madrid. En: Energía Solar. El recorrido de la energía 2002 [en línea]. [Consulta: 2 marzo de 2014] Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/aula/recorrido-de-la-energia-energia-solar.pdf>
6. SALAS Merino, V. Hibridación Fotovoltaica aislada: configuraciones-topologías. En: Solar News, 2013, no. 49, pp. 22-27. ISSN 1699-8405.

REFERENCIAS IMÁGENES:

[1]: [Energías Renovables]. Recuperado de:
<http://blog.uchceu.es>; <http://www.electricidad-gratuita.com>;
<http://www.flowserve.com>; <http://www.efimarket.com>;
loquepodemoshacer.files.wordpress.com; <http://www.mundo-geo.es>

[2]: [Movimiento aparente del Sol]. Recuperado de:
<http://www.educa.madrid.org/web/ies.alonsoquijano.alcala/carpeta5/carpetas/quien-es/departamentos/ccnn/CCNN-1-2-ESO/1eso/T03-Universo-S-Solar/images/tema-3/MovimientoSol.gif>

[3]: [Estructura fija sobre el terreno]. Recuperado de:
<http://spanish.alibaba.com/product-gs-img/energ-a-solar-fotovoltaica-de-tierra-de-montaje-de-la-estructura-g1-212-p4-514252553.html>

[4]: [Estructura orientable sobre seguidores]. Recuperado de:
<http://www.cambioenergetico.com/blog/114-seguidores-fotovoltaicos-de-un-solo-eje>

[5]: [Módulos solares sobre una nave industrial (izda.) y sobre tejado de una vivienda (dcha.)]. Recuperado de:
http://img.archiexpo.es/images_ae/photo-g/kits-solares-fotovoltaicos-tejados-62604-6227117.jpg; <http://www.rentalo.es/blog/wp-content/uploads/2009/01/naves-solares.jpg>

[6]: [Ángulo acimut]. Recuperado de:
http://www.heliodon.net/downloads/Beckers_2004_Ir_El_diagrama_solar.pdf

[7]: [Funcionamiento general aerotermia]. Recuperado de:
<http://aceborehabilitacion.com/servicios/energias-renovables/>; <http://energium.es/ventajas-de-la-aerotermia-para-calefaccion-y-agua-caliente-sanitaria/>

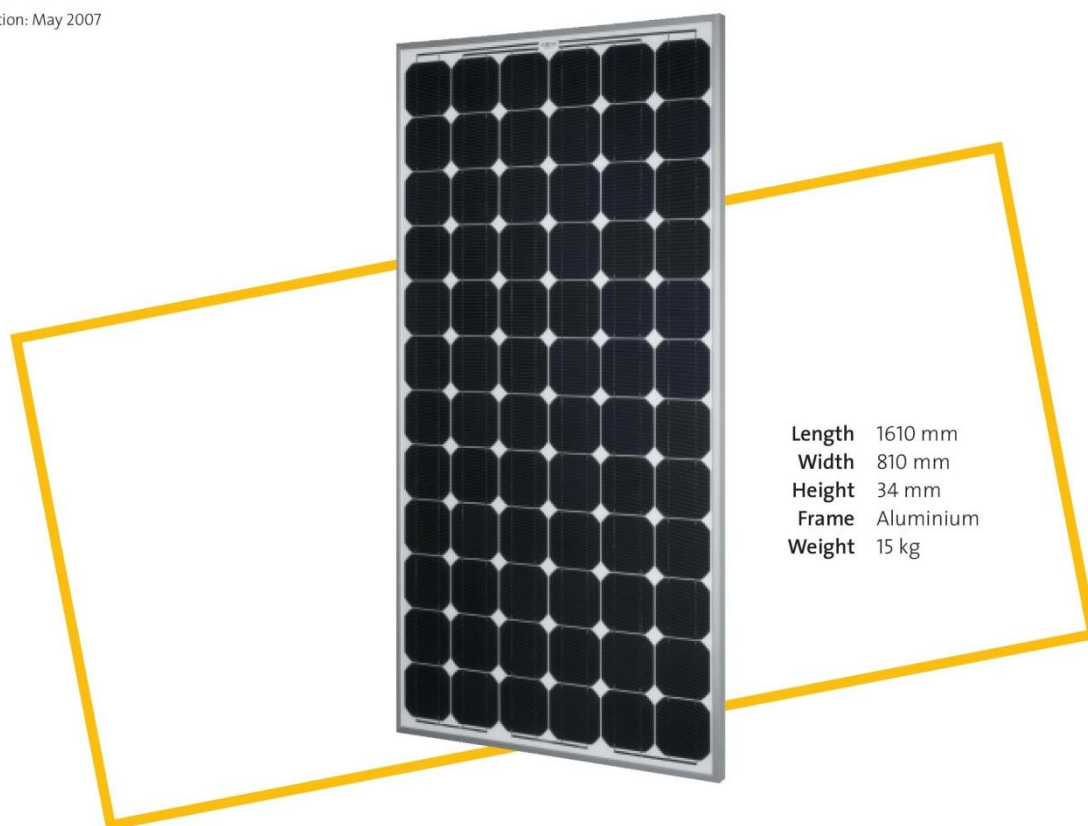
[8]: [Esquema instalación fotovoltaica y aerotermia]. Recuperado de:
http://www.veranoinstalaciones.com/images/aerotermia/ehs_ehstdm2.png

[9]: [Ejemplo de aplicación en una vivienda de aerotermia + FV]. Recuperado de:
<http://www.veranoinstalaciones.com/aerotermia.html>

CAPÍTULO 8

Anexos

- Módulo solar: Sunmodule SW 160-185 mono
- Batería: GNB. Classic Solar. Classic OPzS Solar
- Regulador: MorningStar. TriStar MPPT



Sunmodule⁺

SW 160/165/170/175/180/185 mono

The Sunmodule Plus heralds an innovative new module concept from SolarWorld. The Plus-sort (based on a SolarWorld flash report) and five watt model stepping ensures true, highest system efficiency and dispenses with the time-consuming task of sorting the modules on site. The fully automated production process at the SolarWorld factories creates a module quality that is consistently high, which in turn will ensure high yields for the long term.

The glass is set deep into the module frame and they are firmly attached to each other by silicone that is applied with continuous precision. This guarantees exceptional rigidity for the entire module and stops any possible loosening of the frame as a result of strong outward forces in cases such as sliding of heavy snow. Tests carried out in accordance with IEC 61215, applying loads up to 5.4 kN/m², confirm that the module can withstand high loads such as heavy accumulations of snow and ice.

The patented, flat and compact junction box provides perfect protection against corrosion, as well as a capacity to rapidly dissipate any excess heat providing lower operating temperature. The junction box is reliably connected by a solid, welded bond to guarantee lasting functionality. In addition, high-quality, robust cables with factory-equipped connectors are used. The ability to recycle the modules and a 25-year performance warranty are the finishing touches to this top-quality product.



SW 160/165/170/175/180/185 mono

Performance under standard test conditions

		SW 160	SW 165	SW 170	SW 175	SW 180	SW 185
Maximum power	P_{max}	160 Wp	165 Wp	170 Wp	175 Wp	180 Wp	185 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	43.8 V	44.0 V	44.2 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	35.0 V	35.3 V	35.5 V	35.8 V	36.0 V	36.3 V
Short circuit current	I_{sc}	5.00 A	5.10 A	5.20 A	5.30 A	5.40 A	5.50 A
Maximum power point current	I_{mpp}	4.58 A	4.68 A	4.79 A	4.89 A	5.01 A	5.10 A

Performance at 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 160	SW 165	SW 170	SW 175	SW 180	SW 185
Maximum power	P_{max}	114.4 Wp	118.0 Wp	121.5 Wp	125.1 Wp	128.7 Wp	132.3 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	39.6 V	39.8 V	40.0 V	40.2 V	40.4 V	40.5 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	31.4 V	31.6 V	31.9 V	32.1 V	32.3 V	32.5 V
Short circuit current	I_{sc}	4.13 A	4.22 A	4.30 A	4.38 A	4.46 A	4.55 A
Maximum power point current	I_{mpp}	3.64 A	3.73 A	3.81 A	3.90 A	3.98 A	4.06 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 95% (+/- 3%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

Component materials

Cells per module	72
Cell type	monocrystalline silicon
Cell dimensions	125 x 125 mm ²

System integration parameters

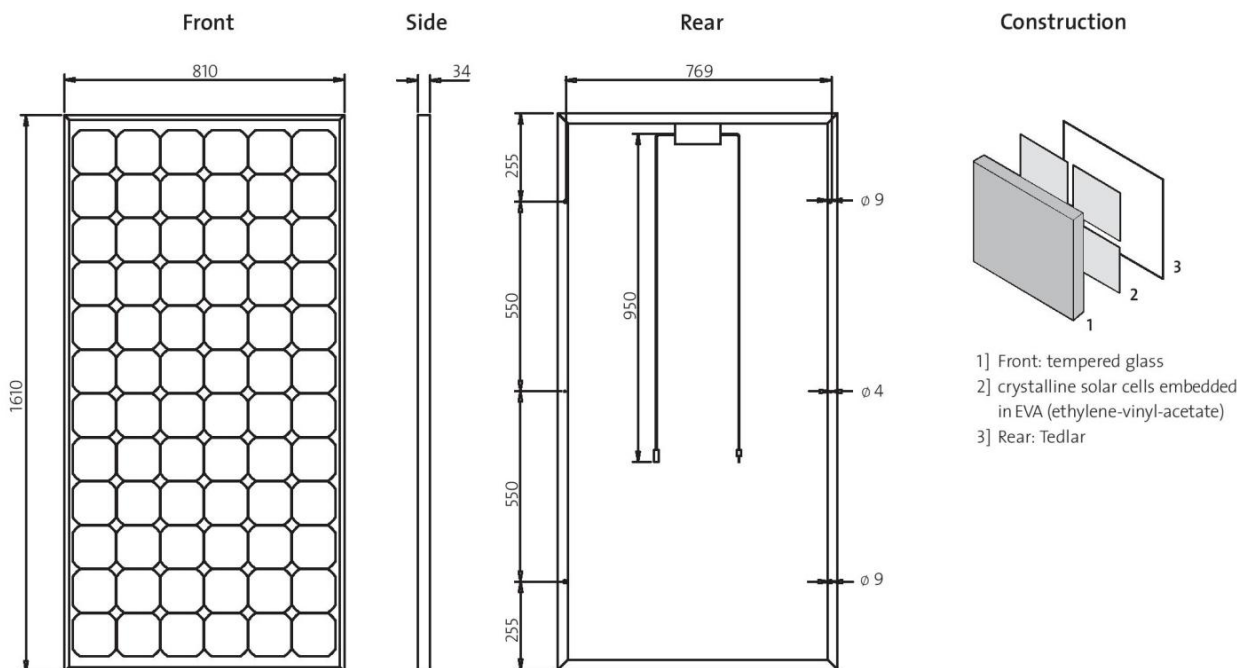
Maximum system voltage SC II	1,000 V _{DC}
Maximum reverse current	Do not apply external voltages larger than V_{oc} to the module

Thermal characteristics

NOCT	46°C
TC I_{sc}	0.036 %/K
TC V_{oc}	-0.33 %/K

Additional data

Power tolerance	+/- 3 %
Junction box	IP 65
Connector	MC type 4



Classic OPzS Solar

Energy storage for outstanding power applications

The Classic OPzS Solar range has been well proven for decades in medium and large power requirements. Due to their robustness, long design life and high operational safety they are ideally suitable for use in solar and wind power stations, telecommunications, power distribution companies, railways and many other safety equipment power supplies. The wide range of available capacities and sizes provides a solution for every power need, even in harsh environments.

Your benefit:

- > **Optimised design for renewable energy applications** – highest cycling ability and long life
- > **Special alloy and large electrolyte reserve** – very long topping up intervals
- > **Low maintenance** – saving costs
- > **Completely recyclable** – low CO₂-footprint

Specifications

- > Nominal capacity (C_{120} at 25 °C): 70.0 - 4600 Ah
- > Very thick tubular positive plates for the most demanding applications
- > Up to 2800 cycles at 60 % depth of discharge (C_{10}) with IU charging profile at 20 °C.
For enhanced performance and for systems ≥ 48 V we recommend IUI charging to reach 3000 cycles and more.
- > Designed in accordance with IEC 61427 and IEC 60896-11
- > Screw connectors for a better contact and reliability
- > Also available in dry-charged version with separate electrolyte
- > High quality transparent containers for easy maintenance



Nominal Capacity
70.0 – 4600 Ah



Block battery/
Single cell



Tubular plate



up to 3000*+
cycles at
60 % depth
of discharge



Recyclable



Low
maintenance

*Using IUI charging at 20 °C

Classic OPzS Solar

Technical Data

Technical characteristics and data

Type	Part number	Nom. voltage V	Nominal capacity C_{120} 1.85 Vpc 25 °C Ah	Length (l) max. mm	Width (b/w) max. mm	Height* (h) max. mm	Installed length (L) max. mm	Weight incl. acid approx. kg	Weight acid** approx. kg	Internal resistance mOhm	Short circuit current A	Terminal	Pole pairs
OPzS Solar 190	NVSL020190WC0FA	2	190	105	208	395	115	13.7	5.20	1.45	1400	F-M8	1
OPzS Solar 245	NVSL020245WC0FA	2	245	105	208	395	115	15.2	5.00	1.05	1950	F-M8	1
OPzS Solar 305	NVSL020305WC0FA	2	305	105	208	395	115	16.6	4.60	0.83	2450	F-M8	1
OPzS Solar 380	NVSL020380WC0FA	2	380	126	208	395	136	20.0	5.80	0.72	2850	F-M8	1
OPzS Solar 450	NVSL020450WC0FA	2	450	147	208	395	157	23.3	6.90	0.63	3250	F-M8	1
OPzS Solar 550	NVSL020550WC0FA	2	550	126	208	511	136	26.7	8.10	0.63	3250	F-M8	1
OPzS Solar 660	NVSL020660WC0FA	2	660	147	208	511	157	31.0	9.30	0.56	3650	F-M8	1
OPzS Solar 765	NVSL020765WC0FA	2	765	168	208	511	178	35.4	10.8	0.50	4100	F-M8	1
OPzS Solar 985	NVSL020985WC0FA	2	985	147	208	686	157	43.9	13.0	0.47	4350	F-M8	1
OPzS Solar 1080	NVSL021080WC0FA	2	1080	147	208	686	157	47.2	12.8	0.43	4800	F-M8	1
OPzS Solar 1320	NVSL021320WC0FA	2	1320	212	193	686	222	59.9	17.1	0.30	6800	F-M8	2
OPzS Solar 1410	NVSL021410WC0FA	2	1410	212	193	686	222	63.4	16.8	0.27	7500	F-M8	2
OPzS Solar 1650	NVSL021650WC0FA	2	1650	212	235	686	222	73.2	21.7	0.26	7900	F-M8	2
OPzS Solar 1990	NVSL021990WC0FA	2	1990	212	277	686	222	86.4	26.1	0.23	8900	F-M8	2
OPzS Solar 2350	NVSL022350WC0FA	2	2350	212	277	836	222	108	33.7	0.24	8500	F-M8	2
OPzS Solar 2500	NVSL022500WC0FA	2	2500	212	277	836	222	114	32.7	0.22	9300	F-M8	2
OPzS Solar 3100	NVSL023100WC0FA	2	3100	215	400	812	225	151	50.0	0.16	12800	F-M8	3
OPzS Solar 3350	NVSL023350WC0FA	2	3350	215	400	812	225	158	48.0	0.14	14600	F-M8	3
OPzS Solar 3850	NVSL023850WC0FA	2	3850	215	490	812	225	184	60.0	0.12	17000	F-M8	4
OPzS Solar 4100	NVSL024100WC0FA	2	4100	215	490	812	225	191	58.0	0.11	17800	F-M8	4
OPzS Solar 4600	NVSL024600WC0FA	2	4600	215	580	812	225	217	71.0	0.11	18600	F-M8	4
OPzS Solar 280	NVSL060280WC0FA	6	280	273	204	358	283	41.0	13.0	2.68	2283	F-M8	1
OPzS Solar 350	NVSL060350WC0FA	6	350	381	204	358	391	56.0	20.0	2.39	2800	F-M8	1
OPzS Solar 420	NVSL060420WC0FA	6	420	381	204	358	391	63.0	20.0	1.96	3106	F-M8	1
OPzS Solar 70	NVSL120070WC0FA	12	70.0	273	204	358	283	35.0	15.0	18.1	688	F-M8	1
OPzS Solar 140	NVSL120140WC0FA	12	140	273	204	358	283	45.0	14.0	9.26	1314	F-M8	1
OPzS Solar 210	NVSL120210WC0FA	12	210	381	204	358	391	64.0	19.0	6.46	1884	F-M8	1

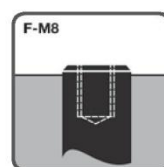
Type	$C_{1.75}$ 1.80 Vpc	$C_{1.80}$ 1.80 Vpc	$C_{1.85}$ 1.80 Vpc	$C_{2.4}$ 1.80 Vpc	$C_{4.8}$ 1.80 Vpc	$C_{7.2}$ 1.80 Vpc	$C_{10.0}$ 1.85 Vpc	$C_{12.0}$ 1.85 Vpc	$C_{24.0}$ 1.85 Vpc
OPzS Solar 190	122	132	134	145	165	175	185	190	200
OPzS Solar 245	159	173	176	190	215	230	240	245	260
OPzS Solar 305	203	220	224	240	270	285	300	305	320
OPzS Solar 380	250	273	277	300	330	350	370	380	400
OPzS Solar 450	296	325	330	355	395	420	440	450	470
OPzS Solar 550	353	391	398	430	480	515	540	550	580
OPzS Solar 660	422	469	477	515	575	615	645	660	695
OPzS Solar 765	492	546	555	600	670	710	750	765	805
OPzS Solar 985	606	700	710	770	860	920	970	985	1035
OPzS Solar 1080	669	773	784	845	940	1000	1055	1080	1100
OPzS Solar 1320	820	937	950	1030	1150	1230	1295	1320	1385
OPzS Solar 1410	888	1009	1024	1105	1225	1305	1380	1410	1440
OPzS Solar 1650	1024	1174	1190	1290	1440	1540	1620	1650	1730
OPzS Solar 1990	1218	1411	1430	1550	1730	1850	1950	1990	2090
OPzS Solar 2350	1573	1751	1770	1910	2090	2200	2300	2350	2470
OPzS Solar 2500	1667	1854	1875	2015	2215	2335	2445	2500	2600
OPzS Solar 3100	2080	2318	2343	2520	2755	2910	3040	3100	3250
OPzS Solar 3350	2268	2524	2550	2740	2985	3135	3280	3350	3520
OPzS Solar 3850	2592	2884	2915	3135	3430	3615	3765	3850	4040
OPzS Solar 4100	2775	3090	3125	3355	3650	3840	4000	4100	4300
OPzS Solar 4600	3099	3451	3490	3765	4100	4300	4500	4600	4850
OPzS Solar 280	203	206	229	250	296	304	287	294	338
OPzS Solar 350	245	257	284	311	374	383	355	364	424
OPzS Solar 420	284	309	322	354	420	432	408	417	482
OPzS Solar 70	55.0	51.5	63.7	69.4	78.4	79.8	81.0	82.7	92.9
OPzS Solar 140	95.4	103	108	118	141	145	136	139	162
OPzS Solar 210	131	154	162	177	206	217	203	210	234

Capacities in Ah ($C_{1.85} - C_{240}$) at 25 °C)

* Includes installed connector, the above mentioned height can differ depending on the used vent(s).

** Acid density d_{40} = 1.24 kg/l

Terminal and torque

12 Nm for blocks;
20 Nm for cellsData are also valid for dry charged version.
Change »W« (Wet) to »D« (Dry) in the part number.
E.g.:

> filled and charged: NVSL120070 W C0FA

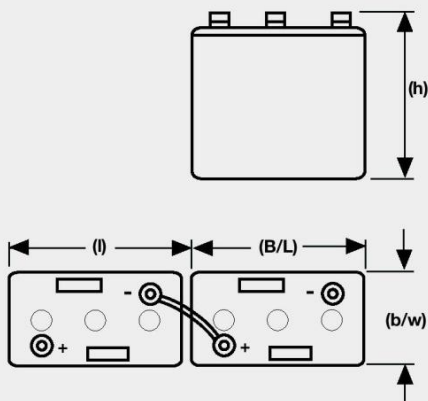
> dry charged: NVSL120070 D C0FA

Classic OPzS Solar

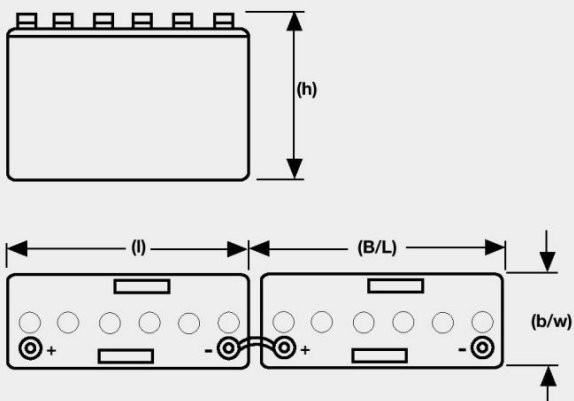
Drawings

Drawings with terminal position

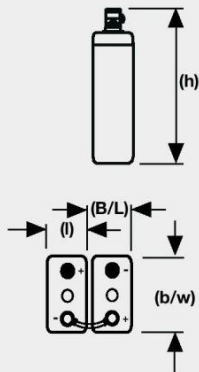
6 V Blocks



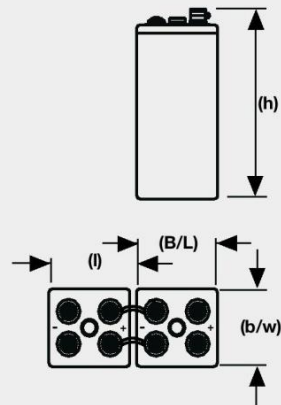
12 V Blocks



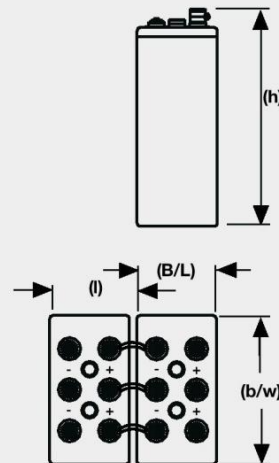
OPzS Solar 190 – OPzS Solar 1080



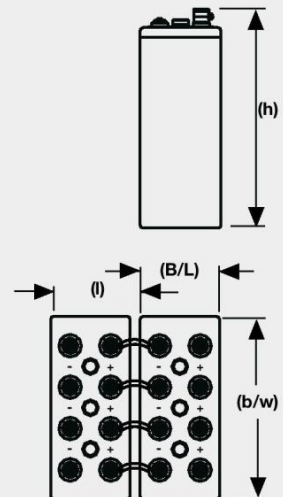
OPzS Solar 1320 – OPzS Solar 2500



OPzS Solar 3100 – OPzS Solar 3350



OPzS Solar 3850 – OPzS Solar 4600



Not to scale!



TriStar MPPT™

SOLAR CONTROLLER WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING

Morningstar's **TriStar MPPT** solar controller with TrakStar Technology™ is an advanced maximum power point tracking (MPPT) battery charger for off-grid photovoltaic (PV) systems up to 3kW. The controller provides the industry's highest peak efficiency of 99% and significantly less power loss compared to other MPPT controllers.

The TriStar MPPT features a smart tracking algorithm that maximizes the energy harvest from the PV by rapidly finding the solar array peak power point with extremely fast sweeping of the entire I-V curve. This product is the first PV controller to include on-board Ethernet for a fully web-enabled interface and includes up to 200 days of data logging.



Product shown with optional meter.

45 or 60 amps at
up to 150 volts
open circuit

Key Features and Benefits

■ Maximizes Energy Harvest

Our TrakStar MPPT Technology features:

- Better peak power point tracking than other MPPT controllers
- Very fast sweeping of the entire I-V curve
- Recognition of multiple power points during shading or mixed PV arrays
- Excellent performance at sunrise and low solar insolation levels

■ Extremely High Reliability

- Robust thermal design and no cooling fans
- Parallel circuit design provides less stress and longer life for electronic components
- No mechanical relays
- Extensive electronic protections including PV short circuit protection
- Epoxy encapsulated inductors and conformally coated printed circuit boards

■ Very High Efficiency

- Peak efficiency of 99%
- Proprietary tracking algorithm minimizes power losses
- Low self-consumption
- Continuous operation at full power to 45°C without need to de-rate
- Selected electronic devices with higher ratings to minimize losses from heating

■ Extensive Networking and Communications Capabilities

Enables system monitoring, data logging and adjustability. Uses open standard MODBUS™ protocol and Morningstar's MS View software.

- Meterbus: communications between compatible Morningstar products
- Serial RS-232: connection to a personal computer
- EIA-485: communications between multiple devices on a bus
- Ethernet: fully web-enabled interface to a local network or internet; view from a web browser or send email/text messages.

■ Metering and Data Logging

- Optional TriStar meter and remote meter provides detailed operating data, alarms and faults
- Three LED's display system status
- Up to 200 days of data logging via meters or communications ports

System Status:

53.60V	28C	54.2A
2867W		MPPT

Data Logging:

Today	Batt	Day: -1	Batt
	46.4 Vmin		47.2 Vmin
Today	Solar	Day: -1	Solar
	58.9 Amax		56.8 Amax
Today	Solar	Day: -1	Solar
	107.2 Vmax		105.5 Vmax

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Electrical

	TS-MPPT-45	TS-MPPT-60
• Maximum Battery Current	45 amps	60 amps
• Nominal Maximum Solar Input	12 Volt 600 Watts 24 Volt 1200 Watts 48 Volt 2400 Watts	800 Watts 1600 Watts 3200 Watts

TS-MPPT-45 and TS-MPPT-60

- Peak Efficiency 99%
- Nominal System Voltage 12, 24, 36 or 48 volts DC
- Max. Solar Open Circuit Voltage 150 volts DC
- Battery Operating Voltage Range 8-72 volts DC
- Maximum Self-consumption 2.7 Watts
- Transient Surge Protection 4500 Watts/port

Electronic Protections

- Solar: Overload, Short Circuit, High Voltage
- Battery: High Voltage
- High Temperature
- Lightning and Transient Surges
- Reverse Current at Night

Battery Charging

- Charging algorithm 4-stage
- Charging stages Bulk, Absorption, Float, Equalize
- Temperature Compensation
 - Coefficient -5mV/°C/cell (25° ref)
 - Range -30°C to +80°C
 - Set points Absorption, Float, Equalize, HVD

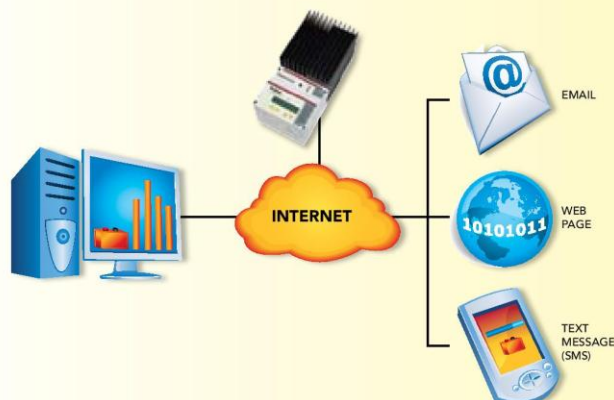
Note: Remote Temperature Sensor is included.

Mechanical

- Dimensions 29.1 x 13.0 x 14.2 cm
11.4 x 5.1 x 5.6 inch
- Weight 4.2 kg / 9.2 lbs.
- Max. Wire Size 35 mm² / 2 AWG
- Conduit knockouts M20; ½, 1, 1 ¼ inch
- Enclosure Type 1 (indoor and vented)
IP20

Environmental

- Ambient Temperature -40°C to +45°C
- Storage Temperature -55°C to +100°C
- Humidity 100% non-condensing
- Tropicalization Epoxy encapsulation
Conformal coating
Marine rated terminals



Communication Ports

	TS-MPPT-45	TS-MPPT-60
• MeterBus	Yes	Yes
• RS-232	Yes	Yes
• EIA-485	No	Yes
• Ethernet	No	Yes

Options

- TriStar Meter-2 (TS-M-2)
- TriStar Remote Meter-2 (TS-RM-2)
- Meter Hub (HUB-1)
- Relay Driver (RD-1)

Certifications

- CE Compliant
- ETL Listed (UL1741)
- cETL (CSA C22.2 No. 107.1-01)
- FCC Class B Part 15 Compliant
- Complies with (NEC) U.S. National Electric Code
- RoHS Compliant
- Manufactured in a certified ISO 9001 facility

WARRANTY: Five year warranty period. Contact Morningstar or your authorized distributor for complete terms.

AUTHORIZED MORNINGSTAR DISTRIBUTOR:

MORNINGSTAR
corporation

8 Pheasant Run
Newtown, PA 18940 USA
Tel: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458
E-mail: info@morningstarcorp.com
Website: www.morningstarcorp.com

